



TUGAS AKHIR - TE 145561

**PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO
DENGAN TURBIN *CROSS FLOW* MENGGUNAKAN GENERATOR
DC MAGNET PERMANEN**

Nur Fauziyah
NRP 2214039029

Dosen Pembimbing
Suwito, ST.,MT.

PROGRAM STUDI ELEKTRONIKA INDUSTRI
Departemen Teknik Elektro Otomasi
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - TE 145561

DESIGN OF MICROHYDRO POWER PLANT WITH CROSS FLOW TURBINE USING PERMANENT MAGNET DC GENERATOR

Nur Fauziyah
NRP 2214039029

Advisor
Suwito, ST., MT.

INDUSTRIAL ELECTRONICS STUDY PROGRAM
Electrical and Automation Engineering Department
Vocational Faculty
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **“PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO DENGAN TURBIN *CROSS FLOW* MENGGUNAKAN GENERATOR DC MAGNET PERMANEN”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 17 Juli 2017



Nur Fauziyah
NRP 2214039029

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

**PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
MIKROHIDRO DENGAN TURBIN CROSS FLOW
MENGUNAKAN GENERATOR DC MAGNET PERMANEN**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Ahli Madya
Pada**

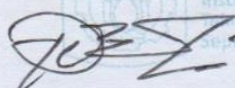
**Program Studi Elektronika Industri
Departemen Teknik Elektro Otomasi
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I,


Suwito, ST., MT.
NIP. 19810105 2005011 0041

Dosen Pembimbing II,


Agus Suhanto, S.Pd.
NIP. 19650821 198603 1 010

**SURABAYA
JULI, 2017**

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO DENGAN TURBIN *CROSS FLOW* MENGUNAKAN GENERATOR DC MAGNET PERMANEN

Nama : Nur Fauziyah
Pembimbing : Suwito, ST., MT

ABSTRAK

Kebutuhan energi listrik meningkat setiap tahun, sehingga pemanfaatan sumber energi terbarukan diperlukan sebagai sumber energi alternatif. Aliran air merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang tersedia dan ramah lingkungan. Dalam mengkonversi aliran air menjadi energi listrik diperlukan generator yang terhubung dengan turbin yang disebut Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).

Untuk memperoleh daya yang besar dipilih generator DC magnet permanen dan turbin *cross flow*. Generator DC magnet permanen mempunyai efisiensi baik pada putaran rendah dan turbin *cross flow* dapat bekerja pada debit yang tidak terlalu tinggi. Luaran dari PLTMH haruslah stabil meskipun debit air yang menggerakkan turbin berubah-ubah. Oleh karena itu, dibuat sebuah perancangan mekanik sistem PLTMH dengan memilih generator dan turbin secara tepat sesuai dengan perhitungan, sehingga keluaran tegangan generator DC magnet permanen dapat mensuplai *buck-boost converter*.

Berdasarkan hasil yang diperoleh adalah kapasitas debit air sebesar 28 liter/sekon dan diameter turbin *cross flow* 1 meter dengan sudu 13 buah dapat menghasilkan daya generator 3,5 watt dan efisiensi turbin 5,9% dengan tegangan yang keluar dari generator pada saat debit air maksimal adalah 13,62 volt.

Kata Kunci : PLTMH, Generator DC Magnet Permanen, Turbin *Cross Flow*

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DESIGN OF MICROHYDRO POWER PLANT WITH CROSS FLOW TURBINE USING PERMANENT MAGNET DC GENERATOR

Name : Nur Fauziyah
Advisor : Suwito, ST., MT.

ABSTRACT

The demand for electricity energy is increasing every year, so the utilization of renewable energy sources is needed as an alternative energy sources. Water flow is one of renewable energy sources options available and environment friendly To conversion of water flow into electrical energy is required a generator connected to turbine which is called the Microhydro Power Plant (PLTMH).

In order to generate of large power are selected permanent magnet DC generator and cross flow turbine. Permanent magnet DC generator have great efficiency on low rotation and cross flow turbine can be worked on the water volume is not too high. The output of PLTMH must be stable although the flow of water that drives turbine unstable. Therefore, be made design of a mechanical PLTMH system with selecting the right type generator and turbine of fits calculations, so the output voltage of permanent magnet DC generator can be supplied to buck-boost converter.

Based on the results is 28 liter/secon capacity of flow water and 1 meter of a diameter cross flow turbine with blades 13 pieces can be generated 3,5 watt of power generator and 5,9 % of efficiency turbine with the output voltage produced by the generator is 13,62 volt when the flow water is high.

Keywords : *PLTMH, Permanen Magnet DC Generator, Cross Flow Turbine*

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam semoga selalu dilimpahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, keluarga, sahabat, dan umat muslim yang senantiasa meneladani beliau.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan guna menyelesaikan pendidikan Diploma 3 pada Program Studi Elektronika Industri, Departemen Teknik Elektro Otomasi, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan judul:

PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO DENGAN TURBIN *CROSS FLOW* MENGUNAKAN GENERATOR DC MAGNET PERMANEN

Dalam Tugas Akhir ini dirancang Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) menggunakan generator DC magnet permanen dengan efisiensi yang baik pada putaran rendah dan turbin *crossflow* yang masih dapat bekerja pada debit yang tidak terlalu tinggi.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak pembimbing yang memberikan berbagai bentuk doa serta dukungan tulus tiada henti, Bapak Suwito, ST., MT. dan Bapak Agus Suhanto, S.Pd. atas segala bimbingan ilmu, moral, dan spiritual dari awal hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini, kedua orang tua yang selalu memberikan doa, semangat, dan dukungannya kepada penulis. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari dan memohon maaf atas segala kekurangan pada Tugas Akhir ini. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dalam pengembangan keilmuan di kemudian hari.

Surabaya, 17 Juli 2017

Penulis

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	v
HALAMAN PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xxix
DAFTAR TABEL	xxiii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Sistematika Laporan Tugas Akhir	2
1.6 Relevansi	3

BAB II TEORI PENUNJANG

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air.....	4
2.1.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro	6
2.1.2 Prinsip Kerja PLTMH.....	7
2.2 Turbin Air	8
2.2.1 Kriteria Pemilihan Jenis Turbin	10
2.2.2 Turbin Air <i>Cross Flow</i>	11
2.3 Generator DC	12
2.3.1 Konstruksi Generator DC.....	12
2.3.2 Prinsip Kerja Generator DC	13
2.4 Motor DC	15
2.4.1 Prinsip Kerja Motor DC.....	16
2.4.2 Karakteristik Motor DC	18
2.5 Mikrokontroler	19
2.5.1 Daya (<i>Power</i>) dan Memori	21
2.5.2 <i>Input</i> dan <i>Output</i>	22
2.5.3 Komunikasi	23
2.5.4 Software Arduino	23

2.6	<i>Rotary Encoder</i>	24
2.7	<i>Sensor Flow Water</i>	25

BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

3.1	Blok Fungsional Sistem	27
3.2	Perancangan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)	28
3.2.1	Perancangan Mekanik.....	29
3.2.1.1	Motor DC	29
3.2.1.2	Generator DC	29
3.2.1.3	Perancangan Piringan Roda	30
3.2.1.4	<i>Rotary Encoder</i>	31
3.2.1.5	<i>Sensor Flow Water</i>	32
3.2.1.6	Perancangan Turbin <i>Cross Flow</i>	32
3.2.1.7	Perancangan Tempat	35
3.2.2	Perancangan Elektrik	38
3.2.2.1	Arduino Mega 2560	38
3.2.2.2	Perancangan Rangkaian Sensor Tegangan..	39
3.2.2.3	Perancangan Rangkaian Sensor Arus.....	40
3.3	Perancangan Perangkat Lunak (<i>Software</i>)	41
3.3.1	Program Pembacaan Sensor Tegangan.....	42
3.3.2	Program Pembacaan Sensor Arus.....	43
3.3.3	Program Pembacaan <i>Rotary Encoder</i>	45
3.3.4	Program Pembacaan <i>Sensor Flow Water</i>	47

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA DATA

4.1	Pengujian Tegangan <i>Output</i> Mikrokontroler	51
4.2	Pengujian <i>Rotary Encoder</i>	52
4.2.1	Pengujian <i>Rotary Encoder</i> Pada Generator DC	52
4.2.2	Pengujian <i>Rotary Encoder</i> Pada Turbin <i>Cross Flow</i>	53
4.3	Pengujian <i>Sensor Flow Water</i>	54
4.4	Pengujian Sensor Tegangan	55
4.5	Pengujian Sensor Arus.....	56
4.6	Pengujian Keseluruhan	57
4.6.1	Pengujian Kecepatan Aliran Sungai dengan Tegangan <i>Output</i> Pada Generator DC Magnet Permanen.....	58
4.6.2	Pengujian Kecepatan Aliran Sungai dengan Putaran Pada Generator DC Magnet Permanen dan Turbin <i>Cross Flow</i>	60

4.6.3	Pengujian Tegangan <i>Output</i> dengan Putaran Pada Generator DC Magnet Permanen dan Turbin <i>Cross Flow</i>	61
4.6.4	Pengujian Tegangan <i>Output</i> dengan Arus <i>Output</i> Pada Generator DC Magnet Permanen.....	63
4.6.5	Pengujian Daya dengan Efisiensi Pada Turbin <i>Cross Flow</i>	64
4.6.6	Pengujian Daya dengan Efisiensi Pada Generator DC Magnet Permanen	66
4.6.7	Pengujian Efisiensi PLTMH	67

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan	69
5.2	Saran	69

DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN A PROGRAM	A-1
LAMPIRAN B FOTO	B-1
LAMPIRAN C DATASHEET	C-1
LAMPIRAN D TABEL	D-1
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema Pembangkit Listrik Tenaga Air	6
Gambar 2.2	Prinsip Kerja PLTMH	7
Gambar 2.3	Turbin Air	9
Gambar 2.4	Karakteristik Turbin	10
Gambar 2.5	Turbin <i>Cross Flow</i>	12
Gambar 2.6	Pembangkitan Tegangan Induksi	14
Gambar 2.7	Tegangan Rotor yang Dihasilkan Melalui Cincin Seret dan Komutator	14
Gambar 2.8	Motor DC Sederhana.....	17
Gambar 2.9	Medan Magnet yang Membawa Arus Mengelilingi Konduktor	17
Gambar 2.10	Medan Magnet Mengelilingi Konduktor Diantara Dua Kutub	17
Gambar 2.11	Kurva Torsi dan Kecepatan Motor DC	19
Gambar 2.12	<i>Board</i> Arduino Mega 2560.....	20
Gambar 2.13	Tampilan IDE Arduino dengan Sebuah <i>Sketch</i>	24
Gambar 2.14	Sensor <i>Optocoupler</i>	24
Gambar 2.15	Sensor <i>Flow Water</i>	25
Gambar 3.1	Blok Fungsional	28
Gambar 3.2	Motor DC 24 Volt	29
Gambar 3.3	Generator DC 24 Volt	30
Gambar 3.4	Piringan Roda	31
Gambar 3.5	Model <i>Rotary Encoder</i>	32
Gambar 3.6	Model Sensor <i>Flow Water</i>	32
Gambar 3.7	Perancangan Turbin <i>Crossflow</i>	35
Gambar 3.8	Perancangan Skematik Arduino.....	36
Gambar 3.9	Perancangan Tempat Generator DC dan Motor DC.....	36
Gambar 3.10	Perancangan Tempat Turbin <i>Cross Flow</i>	37
Gambar 3.11	Perancangan Tempat Komponen Elektrik....	37
Gambar 3.12	Perancangan Mekanik Keseluruhan.....	38
Gambar 3.13	Rangkaian Arduino Mega 2560	39
Gambar 3.14	Rangkaian Pembagi Tegangan	40
Gambar 3.15	Rangkaian <i>Sensor Arus</i>	41
Gambar 3.16	<i>Flowchart</i> Pembacaan Sensor Tegangan	42
Gambar 3.17	Contoh Segmen Program Pembacaan Sensor Tegangan	43
Gambar 3.18	<i>Flowchart</i> Program Pembacaan Sensor Arus	43

Gambar 3.19	Contoh Segmen Program Pembacaan Sensor Arus.....	44
Gambar 3.20	<i>Flowchart</i> Program Pembacaan <i>Rotary Encoder</i>	45
Gambar 3.21	Contoh Segmen Program Pembacaan <i>Rotary Encoder</i>	46
Gambar 3.22	<i>Flowchart</i> Program Pembacaan Sensor <i>Flow Water</i>	47
Gambar 3.23	Contoh Segmen Program Pembacaan Sensor <i>Flow Water</i>	49
Gambar 4.1	Rangkaian Pengujian <i>Vout</i> Mikrokontroler .	51
Gambar 4.2	Rangkaian Pengujian <i>Rotary Encoder</i> pada Generator DC	52
Gambar 4.3	Pengujian <i>Rotary Encoder</i> pada Generator DC.....	53
Gambar 4.4	Rangkaian Pengujian <i>Rotary Encoder</i> pada Turbin.....	53
Gambar 4.5	Pengujian <i>Rotary Encoder</i> pada Turbin.....	54
Gambar 4.6	Rangkaian Pengujian Sensor <i>Flow Water</i>	54
Gambar 4.7	Rangkaian Pengujian Sensor Pembagi Tegangan	55
Gambar 4.8	Pengujian Sensor Pembagi Tegangan.....	56
Gambar 4.9	Rangkaian Pengujian Sensor Arus	56
Gambar 4.10	Pengujian Sensor Arus	57
Gambar 4.11	Rangkaian Pengujian Keseluruhan	57
Gambar 4.12	Pengujian Keseluruhan PLTMH	58
Gambar 4.13	Grafik Kecepatan Aliran Sungai dan Tegangan Output Generator DC Pengujian ke-1	59
Gambar 4.14	Grafik Kecepatan Aliran Sungai dan Tegangan Output Generator DC Pengujian ke-2	59
Gambar 4.15	Grafik Kecepatan Aliran Sungai dan Putaran Pengujian ke-1	60
Gambar 4.16	Grafik Kecepatan Aliran Sungai dan Putaran Pengujian ke-2	61
Gambar 4.17	Grafik Tegangan <i>output</i> dan Putaran Pengujian ke-1	62
Gambar 4.18	Grafik Tegangan <i>output</i> dan Putaran Pengujian ke-2	62

Gambar 4.19	Grafik Tegangan <i>Output</i> dan Arus <i>Output</i> Pada Generator DC Magnet Permanen Pengujian ke-1	63
Gambar 4.20	Grafik Tegangan <i>Output</i> dan Arus <i>Output</i> Pada Generator DC Magnet Permanen Pengujian ke-2	64
Gambar 4.21	Grafik Daya Turbin dan Efisiensi Turbin Pengujian ke-1	65
Gambar 4.22	Grafik Daya Turbin dan Efisiensi Turbin Pengujian ke-2	65
Gambar 4.23	Grafik Daya dan Efisiensi Generator DC Magnet Permanen Pengujian ke-1	66
Gambar 4.24	Grafik Daya dan Efisiensi Generator DC Magnet Permanen Pengujian ke-2	67
Gambar 4.25`	Grafik Effisiensi PLTMH	68

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Spesifikasi PLTA	5
Tabel 2.2	Pengelompokan Turbin.....	9
Tabel 2.3	<i>Datasheet</i> Mikrokontroler Arduino Mega 2560	21
Tabel 3.1	Spesifikasi Motor DC	29
Tabel 3.2	Spesifikasi Generator DC	30
Tabel 3.3	Spesifikasi Menggunakan <i>Propeller</i> 1	33
Tabel 3.4	Spesifikasi Dimensi Turbin <i>Crossflow</i>	34

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Setiap tahun kebutuhan energi listrik terus meningkat, sehingga pemanfaatan sumber energi terbarukan sangat diperlukan. Salah satu sumber energi terbarukan adalah aliran air. Untuk mengkonversi aliran air menjadi energi listrik diperlukan sebuah generator yang terhubung dengan turbin yang disebut dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). PLTMH adalah suatu sistem pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak dengan memanfaatkan ketinggian dan debit air. PLTMH secara teknis terdiri dari tiga komponen utama yaitu air sebagai sumber energi, turbin dan generator atau pembangkit.

Pada proses pembangkitan listrik dari energi alternatif yang ada biasanya tetap menggunakan generator. Generator yang tersedia banyak dipasaran biasanya berjenis *high speed induction* generator dimana pada generator jenis ini membutuhkan putaran tinggi dan juga membutuhkan energi listrik awal untuk membuat medan magnetnya. Untuk itu perlu adanya suatu pemilihan generator yang dapat mengefektifkan tegangan *output* PLTMH pada debit air yang berubah-ubah.

Salah satu generator yang dapat dipilih untuk diterapkan pada PLTMH adalah generator DC magnet permanen. Generator ini berjenis *low speed* dan tanpa energi listrik awal. Dalam perencanaan pembangkit listrik skala kecil ini generator DC magnet permanen digerakan oleh motor DC. Motor DC dikopel terhadap generator dengan bantuan *pulley* sebagai rasio perbandingan putaran.

Tujuan Tugas Akhir ini adalah membuat perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro dengan turbin *cross flow* menggunakan generator DC magnet permanen untuk membangkitkan energi listrik. Penggunaan magnet permanen sangat berguna dalam penerapan pembangkitan listrik skala kecil, karena generator magnet permanen mempunyai keunggulan ketika hanya mendapatkan putaran rendah bisa mengeluarkan energi listrik yang cukup besar. Hasil yang diharapkan adalah tegangan *output* generator DC magnet permanen minimal 9,6 volt DC agar dapat mensuplai pada rangkaian *buck-boost converter* dikarenakan tegangan kerja pada *buck-boost converter* sebesar 9,6 volt DC.

1.2 Permasalahan

Pada Tugas Akhir ini yang menjadi permasalahan utama adalah kecepatan generator DC magnet permanen yang tidak stabil akibat debit aliran air yang berubah-ubah serta kecepatan putar turbin *cross flow* berpengaruh pada keluaran tegangan.

1.3 Batasan Masalah

- Alat yang dibuat disesuaikan dengan debit berskala laboratorium dengan nilai debit yang beragam.
- Turbin yang digunakan adalah turbin *cross flow* dan generator yang digunakan adalah generator DC magnet permanen 24 volt.

1.4 Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah membuat perancangan PLTMH dengan turbin *cross flow* menggunakan generator DC magnet permanen yang dapat bekerja pada energi potensial kecil dan merancang sistem pengendali DC *bus* yang bersumber dari generator DC magnet permanen.

1.5 Sistematika Laporan

Pembahasan Tugas Akhir ini akan dibagi menjadi lima Bab dengan sistematika sebagai berikut:

Bab I PENDAHULUAN

Membahas tentang latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan, sistematika laporan dan relevansi.

Bab II TEORI PENUNJANG

Membahas tentang teori-teori penunjang yang diperlukan dan dipergunakan sebagai penunjang pengerjaan Tugas Akhir.

Bab III PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT

Membahas tentang perencanaan dan pembuatan perangkat keras (*hardware*) yang terdiri dari perancangan elektronik dan perancangan mekanik serta pembuatan dan perancangan perangkat lunak (*software*).

Bab IV PENGUJIAN DAN ANALISA ALAT

Membahas tentang pengujian alat yang terdiri dan pengujian perangkat keras dan juga perangkat lunak. Begitu pula dengan pengukuran.

Bab V PENUTUP

Menjelaskan tentang kesimpulan dari Tugas Akhir dan saran-saran untuk pengembangan alat lebih lanjut.

1.6 Relevansi

Dengan adanya perancangan PLTMH dengan turbin *cross flow* menggunakan generator DC magnet permanen ini diharapkan keluaran tegangan dapat mensuplai *buck-boost converter* meskipun pada aliran yang rendah.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

BAB II

TEORI PENUNJANG

Pada bab ini dibahas mengenai teori-teori yang menunjang dalam proses pembuatan alat Tugas Akhir. Teori yang menunjang dalam Tugas Akhir ini diantaranya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Air, Turbin Air, Generator DC, Motor DC, Mikrokontroler, *Rotary Encoder* dan Sensor *Flow Water*.

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air [1]

Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) adalah pembangkit yang mengandalkan energi potensial dan kinetik dari air untuk menghasilkan energi listrik. Energi listrik yang dibangkitkan ini biasa disebut sebagai hidroelektrik. Bentuk utama dari pembangkit listrik jenis ini adalah generator yang dihubungkan ke turbin yang digerakkan oleh tenaga kinetik dari air. Dalam PLTA, potensi air dikonversikan menjadi tenaga listrik, mula-mula potensi air dikonversikan menjadi tenaga mekanik dalam turbin air, kemudian turbin air memutar generator yang membangkitkan energi listrik.

Pemanfaatan pembangkit listrik tenaga air diklasifikasikan menurut besarnya kapasitas daya yang dihasilkan. Klasifikasi umum pembangkit listrik tenaga air sebagai berikut:

Tabel 2.1. Spesifikasi PLTA (Sumber Penche dan Minas, 1988)

Spesifikasi	Daya
<i>Pico-hydro</i>	< 500 W
<i>Micro-hydro</i>	1 – 100 KW
<i>Mini-hydro</i>	100 – 1000 KW
<i>Small-hydro</i>	1 – 15 KW
<i>Medium-hydro</i>	15 – 500 MW
<i>Large-hydro</i>	> 100 KW

Berdasarkan Tabel 2.1 klasifikasi pembangkit listrik tenaga air dapat dilihat fungsi dan keunggulan kapasitas dari beberapa hidro. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) merupakan pembangkit air yang memiliki kapasitas 1 KW sampai 100 KW, pembangkit ini merupakan tipe pembangkit tenaga air yang sesuai

ditetapkan dilokasi-lokasi yang memiliki tinggi jatuh rendah dan aliran air yang tidak terlalu banyak.



Gambar 2.1 Skema Pembangkit Listrik Tenaga Air

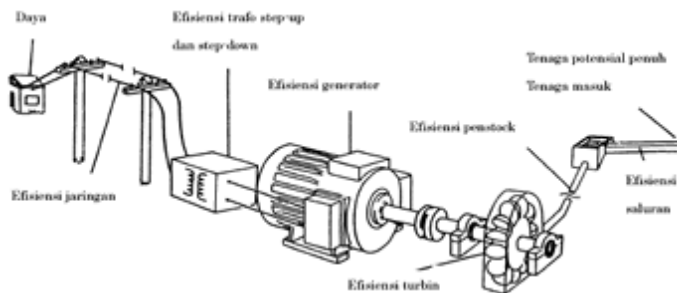
Pada Gambar 2.1 merupakan skema Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dimana terdapat turbin yang digerakkan oleh tenaga kinetik air dan generator untuk membangkitkan energi listrik.

2.1.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik yang menggunakan tenaga air sebagai media utama untuk penggerak turbin dan generator. Kapasitas daya dari PLTMH berkisar 1 KW sampai 100 KW. PLTMH umumnya merupakan pembangkit listrik jenis *run of river* dimana *head* diperoleh tidak dengan cara membangun bendungan besar, melainkan dengan mengalihkan aliran air sungai kesatu sisi dari sungai tersebut selanjutnya mengalirkannya lagi ke sungai pada suatu tempat dimana beda tinggi yang diperlukan sudah diperoleh. PLTMH dibangun berdasarkan adanya air yang mengalir disuatu daerah dengan kapasitas dan ketinggian yang memadai. Istilah kapasitas mengacu pada jumlah volume aliran air persatuan waktu (*flow capacity*) sedangkan beda ketinggian daerah aliran sampai ke instalasi dikenal dengan istilah *head*. Secara teknis, mikrohidro mempunyai tiga komponen utama yaitu air sumber energi, turbin dan generator.

2.1.2 Prinsip Kerja PLTMH

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTM) pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air yang ada pada saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air yang bertekanan (dihasilkan dari tinggi jatuh) menciptakan gaya yang memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya akan memutar generator yang menghasilkan listrik. Semakin tinggi jatuh atau semakin banyak debit air akan menghasilkan listrik lebih banyak. Hubungan antara turbin dengan generator dapat menggunakan jenis sambungan sabuk (*belt*) ataupun sistem *gear box*. Jenis sabuk yang biasa digunakan untuk PLTMH skala besar adalah jenis *flat belt* sedangkan *V-belt* digunakan untuk skala di bawah 20 kW. Selanjutnya listrik yang dihasilkan oleh generator ini dialirkan ke rumah-rumah dengan memasang pemaman (sekring). Yang perlu diperhatikan dalam merancang sebuah PLTMH adalah menyesuaikan antara debit air yang tersedia dengan besarnya generator yang digunakan. Jangan sampai generator yang dipakai terlalu besar atau terlalu kecil dari debit air yang ada.



Gambar 2.2 Prinsip Kerja PLTMH

Gambar 2.2 merupakan penjelasan dari prinsip kerja sebuah PLTMH dimana air mampu menggerakkan turbin dan menghasilkan suatu energi gerak yang dikonversikan menjadi energi listrik oleh generator.

Untuk menghitung daya yang bisa dihasilkan dapat digunakan persamaan untuk aliran air datar. Dalam hal ini energi yang tersedia merupakan energi kinetik.

$$E = \frac{1}{2} mv^2$$

Daya air yang tersedia dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$P = \frac{1}{2} \rho Q v^2 \text{ atau } P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \dots\dots\dots (2.1)$$

Atau dengan menggunakan persamaan kontinuitas

$$Q = A v \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan:

P = Daya air (watt)

ρ = Massa jenis air (1000) (kg/m³)

Q = Debit air (m³/s)

A = Luas penampang aliran air (m²)

v = Kecepatan aliran air (m/s)

Untuk menghitung debit dan volumenya menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q = \text{volume} / \text{waktu} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$V = p \times l \times t \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana,

V = Volume (m³)

p = Panjang bak (m)

l = Lebar bak (m)

t = Tinggi bak (m)

Untuk mencari kecepatan air dan luas penampang dapat menggunakan persamaan berikut ini:

$$v = s / t \dots\dots\dots (2.5)$$

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2 \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana,

v = kecepatan air (m/s)

s = jarak (m)

t = waktu (s)

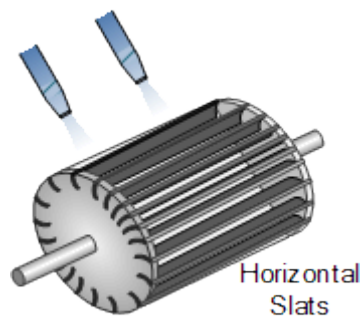
A = Luas penampang (m²)

D = Diameter pipa (m²)

2.2 Turbin Air [2]

Turbin air merupakan suatu pembangkit mula-mula yang memanfaatkan energi potensial air menjadi energi mekanik dimana air memutar roda turbin. Air yang berada pada ketinggian tertentu memiliki energi potensial. Ketik air mengalir ke tempat yang lebih rendah energy potensial berubah menjadi energi kinetik. Oleh turbin air, energi kinetik dirubah menjadi energi mekanik. dalam bentuk putaran poros. Putaran poros turbin ini akan diubah oleh generator menjadi tenaga listrik. Secara garis besar turbin air terdiri dari dua bagian utama, yaitu stator

dan rotor. Rotor adalah bagian-bagian dari turbin yang bergerak atau berputar seperti roda turbin, poros,kopling, roda gaya, pulley dan bagian lainnya yang dipasang pada poros atau roda turbin. Stator adalah bagian-bagian dari turbin air yang diam seperti saluran masuk, rumah-rumah, bantalan poros, sudu antar, saluran buang dan lain-lain.



Gambar 2.3 Turbin Air

Gambar turbin air dapat dilihat pada Gambar 2.3. Ini merupakan turbin air tipe *cross flow* dengan kecepatan spesifik turbin yaitu 70 sampai 80 (Lal, Jagdish, 1975).

Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi enrgi mekanis, turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu tubin impuls dan turbin reaksi.

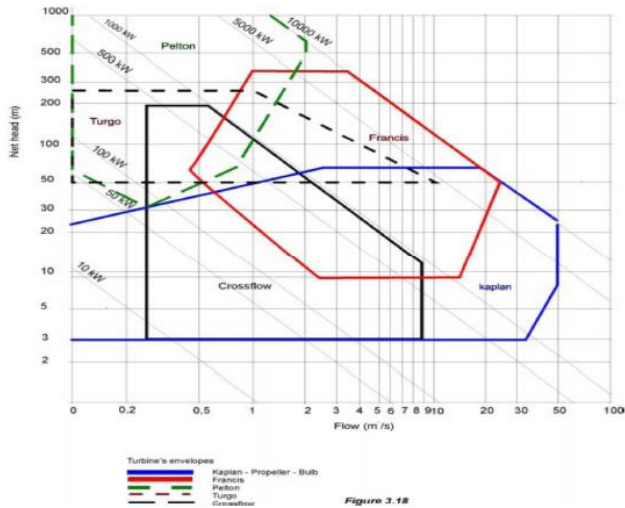
Tabel 2.2 Pengelompokan Turbin

Turbin Runner	Head Pressure		
	High	Medium	Low
Impuls	Pelton	Cross-flow	Cross-flow
	Turgo	Turgo	
	Multi Jet Pelton	Multi Jet Pelton	
Reaction	Francis		Propeller
	Pupm as Turbin		Kaplan

Berdasarkan Tabel 2.2 klasifikasi turbin dapat dilihat berdasarkan prinsip kerja turbin. Turbin *cross flow* merupakan turbin yang sangat efektif untuk digunakan pada debit dan aliran yang tidak terlalu tinggi serta dalam pembuatannya sangatlah sederhana.

2.2.1 Kriteria Pemilihan Jenis Turbin

Ada beberapa faktor yang mendasari perencanaan dan pemilihan suatu turbin air. Faktor-faktor tersebut yang terutama antara lain adalah: debit aliran air, *head* atau tinggi air jatuh, kecepatan spesifik, putaran turbin, putaran pesawat yang digerakkan, posisi poros turbin, biaya pembangunan instalasi. Dari sekian banyak faktor tersebut di atas, yang paling menentukan adalah debit dan *head* aliran air. Ukuran atau dimensi turbin air sangat tergantung kepada debit dan *head* air ini. Debit air yang besar pada *head* tertentu akan memerlukan turbin air ukuran besar, sedangkan untuk *head* air yang besar pada debit tertentu, dimensi turbin air cenderung lebih kecil. Dengan demikian debit dan *head* air ini secara tidak langsung akan menentukan biaya pembuatan turbin air berikut pembangkitnya.



Gambar 2.4 Karakteristik Turbin

Gambar 2.4 merupakan penjelasan dari karakteristik turbin berdasarkan kecepatan aliran air, ketinggian (*head*) dan daya yang dihasilkan. Semakin besar kecepatan aliran air dan semakin tinggi *head* air maka daya yang dihasilkan akan semakin besar.

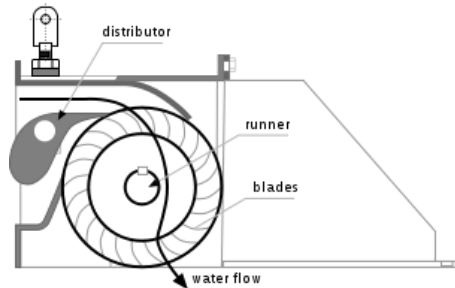
Disamping itu debit dan *head* air ini beserta jumlah putaran sudu yang digerakkannya akan mempengaruhi juga dalam penentuan putaran

turbin sekaligus kecepatan spesifiknya. Sedangkan kecepatan spesifik itu sendiri akan menentukan pula terhadap jenis turbin yang digunakan. Demikian juga debit dan *head* air ini akan menentukan juga posisi turbin, yang mana turbin-turbin dengan debit air yang besar biasanya mempunyai poros vertikal.

Ada beberapa faktor yang menentukan dalam pemilihan debit dan *head* air yang direncanakan untuk suatu pemilihan turbin. Penentuan potensi sumber air dan keadaan tanah atau topografi sekitar lokasi dan kapasitas listrik yang dibutuhkan, serta kemampuan dana yang diperlukan untuk membangun instalasinya. Kita mengenal tinggi air jatuh total (*gross head* = H) dan tinggi jatuh air efektif (*effective head* = H_{ef}). *Head* total ini adalah perbedaan ketinggian antara permukaan antara *head race* dengan *tail race*, sedangkan *effective head* adalah tinggi jatuh air total dikurangi dengan kerugian tinggi tekan akibat gesekan pada pipa pesat dan peralatan lainnya. Seleksi awal dari jenis turbin yang cocok untuk suatu keperluan paling tepat dilakukan dengan menggunakan kecepatan spesifik.

2.2.2 Turbin Air Cross Flow

Salah satu jenis turbin aksi ini juga dikenal dengan nama Turbin *Mitchell-Banki* yang merupakan penemunya. Selain itu juga disebut Turbin *Osberger* yang merupakan perusahaan yang memproduksi turbin *Cross Flow*. Turbin *Cross Flow* dapat dioperasikan pada debit $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ hingga $10 \text{ m}^3/\text{s}$ dan *head* antara 1 s/d 200 m. Sebagai suatu turbin aliran radial atmosferik, yang berarti bekerja pada tekanan atmosfer, turbin aliran silang menghasilkan daya dengan mengkonversikan energi kecepatan pancaran air. Meninjau karakteristik kecepatan spesifiknya, turbin ini berada di antara turbin *Pelton* dan turbin *Francis* aliran campur. Turbin aliran silang (*Cross Flow*) terdiri atas dua bagian utama, nosel dan runner. Dua buah piringan sejajar disatukan pada lingkaranya oleh sejumlah sudu membentuk konstruksi yang disebut *runner*. Nosel berpenampang persegi, mengeluarkan pancaran air ke selebar *runner* dan masuknya dengan sudut 16° terhadap garis singgung lingkaran luar *runner*. Bentuk pancaran adalah persegi, lebar dan tidak terlalu tebal. Air masuk ke sudu-sudu pada rim *runner*, mengalir di atasnya, ke luar, memintas ruang kosong di antara bagian dalam rim, masuk ke sudu-sudu pada sisi dalam rim dan akhirnya keluar dari *runner*.



Gambar 2.5 Turbin *Cross Flow*

Gambar 2.5 merupakan turbin air jenis *cross flow* dimana terdapat 3 komponen yaitu *distributor*, *runner* dan *blades*. Menurut (Meir, Ueli, 1981) terdapat dua tipe turbin *cross flow* yaitu tipe-1 (*cross flow* kecepatan rendah) dan tipe-3 (*cross flow* kecepatan tinggi).

2.3 Generator DC [3]

Generator listrik merupakan alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanikal, biasanya dengan menggunakan induksi elektromagnetik. Proses ini dikenal sebagai pembangkit listrik. Sumber energi mekanik bisa berupa resiprokats maupun turbin mesin uap, air yang jatuh melalui sebuah turbin maupun kincir air, mesin pembakaran dalam, turbin angin, engkol tangan, energi surya atau matahari, udara yang dimampatkan, atau apapun sumber energi mekanik yang lain. Generator DC yaitu generator yang menghasilkan tegangan output searah

2.3.1 Konstruksi Generator DC

Ada dua struktur kumparan pada mesin sinkron yang merupakan dasar kerja dari mesin tersebut, yaitu:

1. Kumparan yang mengalirkan penguatan DC (membangkitkan medan magnet, biasa disebut sistem eksitasi).
2. Sebuah kumparan (biasa disebut jangkar) tempat dibangkitkannya GGL arus bolak-balik.

Konstruksi generator ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu :

1. **Stator**, yaitu bagian diam (statis).
2. **Rotor**, yaitu bagian bergerak/ berputar yang diputar oleh suatu sumber energi mekanik.

Berdasarkan letak kedudukan kumparan medan dan jangkar generator pada stator maupun rotornya, maka generator dapat dibedakan menjadi 2, yaitu:

1. **Generator kutub dalam.** Kumparan jangkar yang menghasilkan GGL terdapat pada stator generator. Sedangkan kumparan medan yang menghasilkan fluksi terletak pada rotor generator. Dengan kata lain medan magnet yang memotong sebuah kumparan. Keuntungan menggunakan sistem belitan armature (kumparan jangkar) stasioner ini adalah bahwa tegangan yang dihasilkan dapat dihubungkan langsung ke beban.
2. **Generator kutub luar.** Kumparan jangkar yang menghasilkan GGL terdapat pada rotor generator. Sedangkan kumparan medan yang menghasilkan fluksi terletak pada stator generator. Dengan kata lain kumparan yang memotong medan magnet. Armature (kumparan jangkar) yang bergerak ini dapat dijumpai pada alternator (generator) untuk daya rendah dan umumnya tidak digunakan untuk daya listrik dalam jumlah besar. Jenis armature berputar memerlukan slip ring dan sikat untuk menghantarkan arus dari armature ke beban.

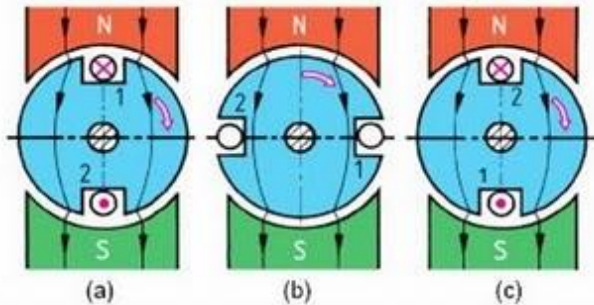
2.3.2 Prinsip Kerja Generator DC

Prinsip dasar generator menggunakan hukum Faraday yang menyatakan jika sebatang penghantar berada pada medan magnet yang berubah-ubah, maka pada penghantar tersebut akan terbentuk gaya gerak listrik.

Pembangkitan tegangan induksi oleh sebuah generator diperoleh melalui dua cara :

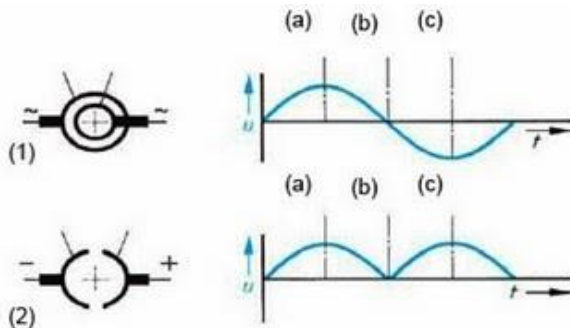
1. Dengan menggunakan cincin-seret, menghasilkan tegangan induksi bolak-balik (AC).
2. Dengan menggunakan komutator, menghasilkan tegangan DC.

Proses pembangkitan tegangan induksi tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Pembangkitan Tegangan Induksi

Jika rotor diputar dalam pengaruh medan magnet, maka akan terjadi perpotongan medan magnet oleh lilitan kawat pada rotor. Hal ini akan menimbulkan tegangan induksi, dapat dilihat pada Gambar 2.7. Tegangan induksi terbesar terjadi saat rotor menempati posisi seperti Gambar 2.7 (a) dan (c). Pada posisi ini terjadi perpotongan medan magnet secara maksimum oleh penghantar. Sedangkan posisi jangkar pada Gambar 2.7 (b), akan menghasilkan tegangan induksi nol. Hal ini karena tidak adanya perpotongan medan magnet dengan penghantar pada jangkar atau rotor. Daerah medan ini disebut daerah netral.



Gambar 2.7 Tegangan Rotor yang Dhasilkan Melalui Cincin Seret dan Komutator

Jika ujung belitan rotor dihubungkan dengan slip-ring berupa dua cincin (disebut juga dengan cincin seret), seperti ditunjukkan Gambar

2.7 (1), maka dihasilkan listrik AC (arus bolak-balik) berbentuk sinusoidal. Bila ujung belitan rotor dihubungkan dengan komutator satu cincin Gambar 2.7 (2) dengan dua belahan, maka dihasilkan listrik DC dengan dua gelombang positif.

Untuk perhitungan daya generator yang diperlukan adalah daya yang dihasilkan oleh kincir air, maka didapatkan persamaan:

$$PG = \frac{1}{2} P_k \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana,

PG = Daya Generator (watt)

Pk = Daya Kincir (watt)

Perhitungan untuk mengetahui putaran (rpm) generator sesuai dengan spesifikasi generator yang dipakai dengan menghitung transmisi perbandingan pulley yang digunakan.

$Rpm_{generator} =$

$$n_1(D_1 / D_2) = n_2; n_2(D_3 / D_4) = n_3; n_3(D_5 / D_6) = n_4 \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana,

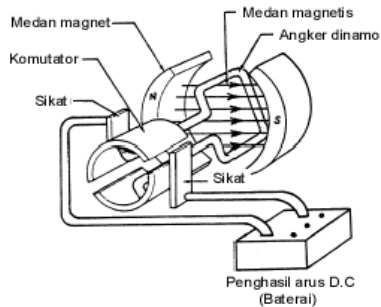
n1: Putaran Kincir (rpm)

n4: Putaran Generator (rpm)

D1,D2,D3,D4,D5,D6 : Diameter *pulley* (Inch)

2.4 Motor DC [3]

Motor DC memerlukan suplai tegangan arus searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Kumparan medan pada motor DC disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar). Jika terjadi putaran pada kumparan jangkar dalam pada medan magnet, maka akan timbul tegangan yang berubah-ubah arahnya pada setiap setengah putaran, sehingga merupakan tegangan bolak-balik. Prinsip kerja arus searah adalah membalik fasa tegangan dari gelombang yang mempunyai nilai positif dengan menggunakan komutator, dengan demikian arus yang berbalik arah dengan kumparan jangkar yang berputar dalam medan magnet. Bentuk motor yang paling sederhana memiliki kumparan memiliki kumparan satu lilitan yang bisa berputar bebas diantara kutub-kutub magnet permanen.



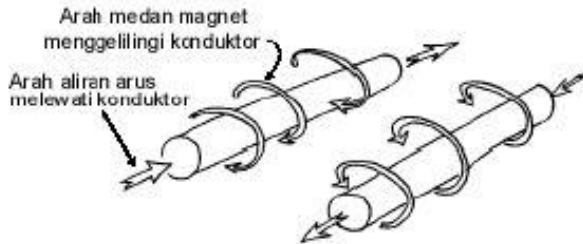
Gambar 2.8 Motor DC Sederhana

Gambar 2.8 merupakan bentuk kerangka dari motor DC sederhana. Pada motor DC terdapat bagian-bagian dalam motor DC antara lain komutator, sikat dan angker dinamo atau yang biasanya disebut dengan rotor.

Catu tegangan DC dari baterai menuju ke lilitan melalui sikat yang menyentuh komutator, dua segmen yang terhubung dengan dua ujung lilitan. Kumparan satu lilitan pada Gambar 2.7 di atas disebut angker dinamo (rotor) adalah sebutan untuk komponen yang berputar diantara medan magnet. Keunggulan motor DC adalah mudah dan dalam mengatur dan mengontrol kecepatan putarnya. Ada beberapa cara untuk dapat mengendalikan kecepatan motor DC, antara lain dengan mengatur lebar pulsa tegangan setiap detiknya yang diberikan pada motor DC atau secara manual yaitu mengatur jumlah arus dan tegangan yang diberikan pada motor DC.

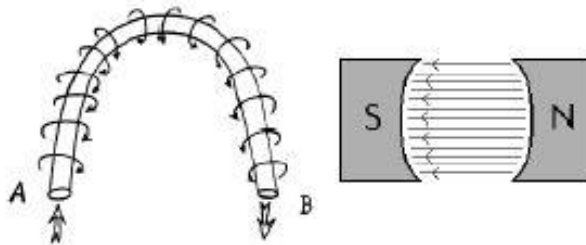
2.4.1 Prinsip Kerja Motor DC

Jika arus lewat pada suatu konduktor, timbul medan magnet disekitar konduktor. Arah medan magnet ditentukan oleh arah aliran arus pada konduktor.



Gambar 2.9 Medan Magnet yan Membawa Arus Mengelilingi Konduktor

Aturan genggam tangan kanandapat dipakai untuk menentukan arah garis fluks disekitar konduktor. Genggam konduktor dengan tangan kanan dengan jempol mengarah ada aliran arus, maka jari-jari akan menunjukkan arah garis fluks. Medan magnet hanya terjadi disekitar sebuah konduktor jika ada arus yang mengalir pada konduktor tersebut seperti pada Gambar 2.9. Pada motor listrik, konduktor berbentuk U disebut anker dinamo.



Gambar 2.10 Medan Magnet Mengelilingi Konduktor Diantara Dua Kutub

Seperti pada Gambar 2.10 jika konduktor berbentuk U (anker dinamo) diletakkan diantara kutub utara dan selatan yang kuat dalam medan magnet konduktor akan berinteraksi dengan magnet kutub. Lingkaran A dan B merupakan ujung konduktor yang dilengkungkan (looped conductor). Arus mengalir masuk melalui ujung A dan keluar melalui ujung B. Medan konduktor A yang searah jarum jam akan menambah medan pada kutub dan menimbulkan medan yang kuat dibawah konduktor. Konduktor akan berusaha bergerak kearah atas

untuk keluar dari medan kuat ini. Medan konduktor B yang berlawanan arah jarum jam akan menambah medan pada kutub dan menimbulkan medan yang kuat diatas konduktor. Konduktor akan berusaha bergerak turun agar keluar dari medan yang kuat tersebut. Gaya-gaya tersebut akan membuat angker dinamo berputar searah jarum jam.

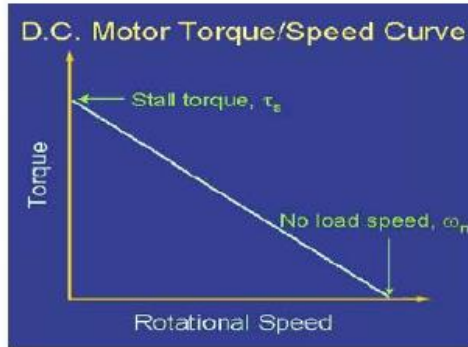
Mekanisme kerja untuk seluruh jenis motor DC secara umum:

- A. Arus listrik dalam medan magnet akan memberikan gaya
- B. Jika kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah lingkaran atau *loop*, maka kedua sisi *loop*, yaitu sudut kanan medan magnet, akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan.
- C. Pasangan gaya menghasilkan tenaga putar atau *torque* untuk memutar kumparan.
- D. Motor-motor memiliki beberapa *loop* pada dinamonya untuk memberikan tenaga putar yang lebih seragam dan medan magnet yang dihasilkan oleh susunan elektromagnetik yang disebut kumparan medan

Pada motor DC, daerah kumparan medan yang dialiri arus listrik akan menghasilkan medan magnet yang melingkupi kumparan jangkar dengan arah tertentu. Konversi dari energi listrik menjadi energi mekanik (motor) maupun sebaliknya berlangsung melalui medan magnet, dengan demikian medan magnet disini selain berfungsi sebagai tempat untuk menyimpan energi sekaligus sebagai tempat berlangsungnya proses perubahan energi.

2.4.2 Karakteristik Motor DC

Karakteristik yang dimiliki suatu motor DC dapat digambarkan melalui kurva daya dan kurva torsi atau kecepatannya, dari kurva tersebut dapat dianalisa batasan-batasan kerja dari motor serta daerah kerja optimum dari motor tersebut.



Gambar 2.11 Kurva Torsi dan Kecepatan Motor DC

Gambar 2.11 merupakan penjelasan kurva torsi dan kecepatan pada motor DC. Dari grafik terlihat hubungan antara torsi dan kecepatan untuk suatu motor DC tertentu. Dapat dianalisis bahwa torsi berbanding terbalik dengan kecepatan putaran, dengan kata lain terdapat *trade off* antara besar torsi yang dihasilkan motor dengan kecepatan putaran motor. Dua karakteristik penting terlihat dari grafik yaitu:

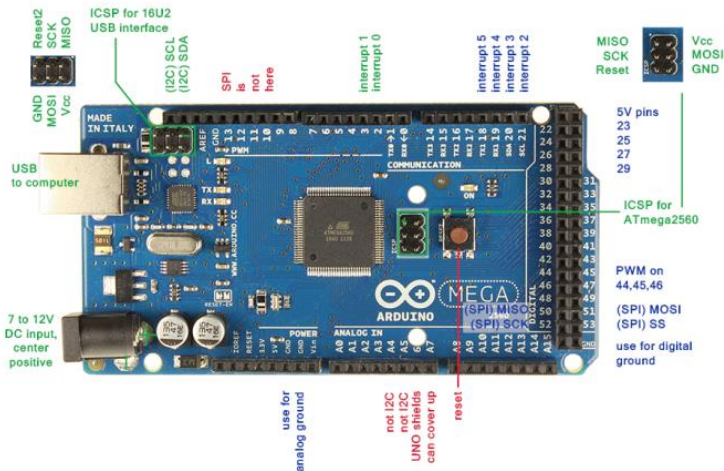
- A. **Stall Torque.** Menunjukkan titik pada grafik dimana torsi maksimum, tetapi tidak ada putaran pada motor.
- B. **No Load Speed.** Menunjukkan titik pada grafik dimana terjadi kecepatan putaran maksimum, tetapi tidak ada beban pada motor

2.5 Mikrokontroler [4]

Pada Tugas Akhir ini mikrokontroler yang dipakai ialah Arduino Mega 2560. Arduino Mega 2560 adalah sebuah *board* mikrokontroler yang didasarkan pada ATmega 2560. Arduino Mega 2560 mempunyai 54 *pin digital input* atau *output* (15 diantaranya dapat digunakan sebagai *output PWM*), 16 *input analog*, 4 *port serial*. Sebuah osilator Kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, sebuah *power jack*, sebuah ICSP *header* dan sebuah tombol *reset*. Arduino Mega 2560 memuat semua yang dibutuhkan untuk menunjang mikrokontroler, mudah menghubungkan ke sebuah computer dengan sebuah kabel USB.

Arduino memiliki kelebihan tersendiri dibandingkan *board* mikrokontroler yang lain selain bersifat *open source*, arduino juga mempunyai bahasa pemrogramannya sendiri yang berupa bahasa C.

Selain itu dalam *board* arduino sendiri sudah dapat *loader* yang berupa USB sehingga memudahkan kita ketika kita memprogram mikrokontroler di dalam arduino. Sedangkan pada kebanyakan *board* mikrokontroler yang lain yang masih membutuhkan rangkaian *loader* terpisah untuk memasukkan program ketika kita memprogram mikrokontroler. *Port* USB tersebut selain untuk *loader* ketika memprogram, bisa juga difungsikan sebagai *port* komunikasi *serial*.



Tabel 2.3 *Datasheet* Mikrokontroler Arduino Mega 2560

Mikrokontroler	ATmega2560
Tegangan pengoperasian	5 Volt
Batas tegangan yang disarankan	7 – 12 Volt
Batas tegangan input	6 – 20 Volt
Jumlah pin I/O digital	54 pin digital (15 diantaranya menyediakan keluaran PWM)
Jumlah pin input analog	16 pin
Arus DC tiap pin I/O	40 mA
Arus DC untuk pin 3,3 V	50 mA
Memory Flash	256 KB (ATmega2560) sekitar 8 KB digunakan oleh <i>bootloader</i>
SRAM	8 KB (ATmega2560)
EEPROM	4 KB (ATmega2560)
Clock Speed	16 MHz

Sifat *open source* arduino juga banyak memberikan keuntungan tersendiri untuk kita dalam menggunakan *board* ini, karena dengan sifat *open source* komponen yang kita pakai tidak hanya tergantung pada satu merek, namun memungkinkan kita bisa memakai semua komponen yang ada dipasaran. Bahasa pemrograman arduino merupakan bahasa C yang sudah disederhanakan *syntax* bahasa pemrogramannya sehingga mempermudah kita dalam mempelajari dan mendalami mikrokontroler.

2.5.1 Daya (Power) dan Memori

Arduino dapat diberikan *power* melalui koneksi USB atau *power supply*. *Power*nya diselek secara otomatis. *Power supply* dapat menggunakan adaptor DC atau baterai. Adaptor dapat dikoneksikan dengan menyambungkan *jack* adaptor pada koneksi *port input supply*. *Board* arduino dapat dioperasikan menggunakan *supply* dari luar sebesar 6 sampai 20 Volt. Jika *supply* kurang dari 7 volt, maka pin 5 Volt akan menyuplai kurang dari 5 Volt dan *board* bisa menjadi tidak stabil. Jika menggunakan lebih dari 12 Volt, maka tegangan di regulator bisa menjadi sangat panas dan menyebabkan kerusakan pada *board*. Rekomendasi tegangan ada pada 7 sampai 12 Volt.

Penjelasan pada pin daya (*power*) adalah sebagai berikut:

- A. **Vin.** Tegangan input ke *board* arduino ketika menggunakan tegangan dari luar (seperti yang disebutkan 5 Volt dari koneksi USB atau tegangan yang diregulasikan). Pengguna dapat

memberikan tegangan melalui *pin* ini atau jika tegangan *supply* menggunakan *power jack*, aksesnya menggunakan *pin* ini.

- B. **5V.** Regulasi *power supply* digunakan untuk *power* mikrokontroler dan komponen lainnya pada *board*. 7 sampai 12 Volt dapat melalui *power jack* DC, 5 Volt dapat melalui *Vin* menggunakan regulator pada *board* atau konektor USB. Apabila pada *pin* 5 Volt atau 3,3 Volt diberikan tegangan secara langsung tanpa melewati regulator dapat merusak *board* arduino.
- C. **3V3.** *Supply* 3,3 Volt dihasilkan oleh regulator yang terdapat pada *board*. Arus maksimumnya adalah 50 mA.
- D. **Pin Ground.** *Pin* ini berfungsi sebagai jalur *ground* pada arduino.
- E. **Memori.** ATmega2560 memiliki 256 KB *flash* memori untuk menyimpan kode, juga 8 KB yang digunakan untuk *bootloader*. ATmega2560 memiliki 8 KB untuk SRAM dan 4 KB untuk EEPROM.

2.5.2 Input dan Output

Setiap 54 *pin digital* pada arduino dapat digunakan sebagai *input* atau *output*, menggunakan fungsi *pinMode()*, *digitalWrite()* dan *digitalRead()*. *Input/Output* dioperasikan pada 5 Volt. Setiap *pin* dapat menghasilkan atau menerima maksimum 40 mA dan memiliki internal *pull-up* resistor (*disconnected* oleh *default*) 20 sampai 50 KOhm.

Beberapa *pin* memiliki fungsi sebagai berikut:

- A. **Serial.** 0 (RX) dan 1 (TX). **Serial 1:** 19 (RX) dan 18 (TX). **Serial 2:** 17 (RX) dan 16 (TX). **Serial 3:** 15 (RX) dan 14 (TX). Digunakan untuk menerima (RX) dan mengirim (TX) TTL data *serial*. *Pin* 0 dan 1 juga terhubung pada *pin* yang koresponding dari USB ke TTL *chip serial*.
- B. **Interrupt eksternal.** *Pin* 2 (*interrupt* 0), *pin* 3 (*interrupt* 1), *pin* 18 (*interrupt* 5), *pin* 19 (*interrupt* 4), *pin* 20 (*interrupt* 3) dan *pin* 21 (*interrupt* 2). *Pin* ini dapat dikonfigurasi untuk *trigger* sebuah *interrupt* pada *low value*, *rising* atau *falling edge*, atau perubahan nilai.
- C. **PWM.** *Pin* 2 sampai 13 dan *pin* 44 sampai 46. Mendukung 8-bit *output* PWM dengan fungsi *analogWrite()*.
- D. **SPI.** *Pin* 50 (MISO), *pin* 51 (MOSI), *pin* 52 (SCK), *pin* 53 (SS). *Pin* ini mensupport komunikasi SPI yang mana masih

mendukung *hardware* yang tidak termasuk pada bahasa arduino.

- E. **LED.** *Pin* 13. *Pin* ini dibuat untuk koneksi LED ke *digital pin* 13. Ketika *pin* bernilai *HIGH*, maka LED hidup. Ketika *pin* bernilai *LOW*, maka LED mati.

2.5.3 Komunikasi

Arduino Mega 250 memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, arduino lain atau mikrokontroler lain. ATmega2560 ini menyediakan UART TTL (5 Volt) komunikasi *serial* yang tersedia pada *pin digital* 0 (RX) dan 1 (TX). *Firmware* arduino menggunakan USB *driver* standar COM dan tidak ada *driver* eksternal yang dibutuhkan. Namun, pada Windows diperlukan *file inf*. Perangkat lunak arduino termasuk monitor *serial* yang memungkinkan data sederhana yang akan dikirim ke *board* arduino. RX dan TX LED di *board* akan berkedip ketika data sedang dikirim melalui *chip* USB to *serial* dan koneksi USB ke komputer.

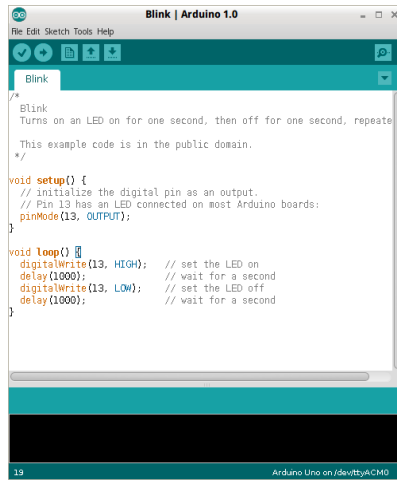
2.5.4 Software Arduino

Arduino Mega 2560 dapat diprogram dengan perangkat lunak arduino. Pada ATmega2560 di arduino terdapat *bootloader* yang memungkinkan kita untuk mengupload kode baru untuk itu tanpa menggunakan *programmer hardware external*. IDE Arduino adalah *software* yang sangat canggih ditulis menggunakan Java.

IDE Arduino terdiri dari:

- A. **Editor program.** Sebuah window yang memungkinkan pengguna menulis dan mengedit program dalam bahasa *Processing*.
- B. **Compiler.** Sebuah modul yang mengubah kode program (bahasa *Processing*) menjadi kode *biner*. Bagaimanapun sebuah mikrokontroler tidak akan bisa memahami bahasa *Processing*. Yang bisa dipahami oleh mikrokontroler adalah kode *biner*. Itulah sebabnya *compiler* diperlukan dalam hal ini.
- C. **Uploader.** Sebuah modul yang memuat kode *biner* dari komputer ke dalam memori di dalam *board* arduino.

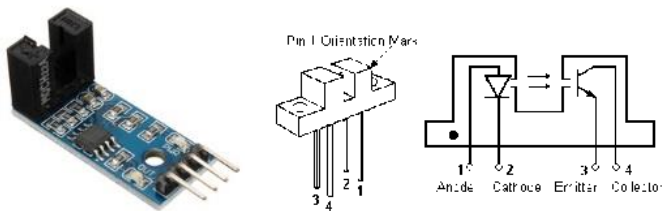
Sebuah kode program arduino umumnya disebut dengan istilah *sketch*. Kata “*sketch*” digunakan secara bergantian dengan “kode program” dimana keduanya memiliki arti yang sama dapat dilihat pada Gambar 2.13



Gambar 2.13 Tampilan IDE Arduino dengan Sebuah *Sketch*.

2.6 Rotary Encoder [5]

Rotary encoder atau *shaft encoder* adalah suatu perangkat elektromekanik yang digunakan untuk mengkonversi perpindahan angular dari suatu poros menjadi kode-kode analog ataupun digital. Terdapat dua jenis utama dari *rotary encoder*, yaitu tipe *absolute* dan tipe *incremental*. *Absolute rotary encoder* menghasilkan kode yang unik untuk tiap-tiap posisi sudut poros tertentu, sedangkan *incremental rotary encoder* menghasilkan kode-kode yang bisa diterjemahkan sebagai jarak perpindahan sudut relatif terhadap posisi awal. Konstruksi *rotary encoder* tersusun dari suatu piringan tipis yang memiliki lubang-lubang pada bagian lingkaran piringan dapat dilihat pada Gambar 2.14

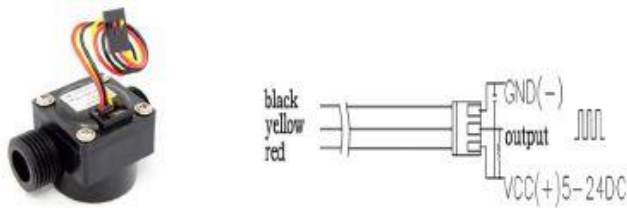


Gambar 2.14 Sensor *Optocoupler*

Sensor *optocoupler* adalah suatu *chip* yang memanfaatkan cahaya yang bersebrangan dari rx (*receiver*) dan tx (*transmitter*) dan natinya akan dibaca oleh mikrokontroler dalam bentuk pulsa. Sensor ini terdiri dari 4 *pin*. Prinsip kerjanya yaitu dapat mendeteksi objek dengan cara, infrared digunakan sebagai *transmitter* dan photodioda digunakan sebagai *receiver*. Sensor ini bekerja membaca pantulan cahaya dari infrared kepingan kemudian diterima oleh photodioda. Photodioda akan berubah tahanan *reverse* apabila diberikan cahaya yang berbeda. Cahaya terang maka tahanan *reverse* photodioda akan kecil dan apabila cahaya gelap maka tahanan akan besar. Perubahan nilai tahanan ini yang dimanfaatkan untuk merubah nilai tegangan yang akan dimasukkan ke ADC mikrokontroler.

2.7 Sensor Flow Water

Sensor *flow water* merupakan sensor yang digunakan untuk pengukuran debit air. Sensor *flow water* terdiri dari katup plastik (*valve body*), rotor air dan sebuah sensor *hall effect*. Ketika air mengalir melalui rotor maka rotor akan berputar dan kecepatan dari rotor akan sesuai dengan aliran air yang masuk melewati rotor. Pulsa sinyal dari rotor akan diterima oleh sensor *hall effect* untuk selanjutnya diproses di mikrokontroler. Sensor *hall effect* merupakan salah satu transduser yang sering digunakan untuk mendeteksi medan magnet. *Hall effect* dapat digunakan untuk mendeteksi gerakan atau putaran apabila gerakan atau putaran tersebut dipengaruhi oleh medan magnet. *Hall effect* terjadi ketika konduktor pembawa arus tertahan pada medan magnet, medan memberi gaya menyamping pada muatan-muatan yang mengalir pada konduktor. Setiap perubahan medan magnet yang terjadi akan dideteksi oleh *hall effect*, dimana perubahan kutub utara dan selatan akan dapat memberikan input pada *hall effect* dan menghasilkan *output* berupa pulsa transisi turun (aktif *low*).



Gambar 2.15 Sensor Flow Water

Pada Gambar 2.15 merupakan bagi-bagian dari sensor *flow water*. Pada sensor ini terdapat 3 kabel yaitu merah, hitam dan kuning. Dimana masing-masing kabel akan dimasukkan pada *pin* arduino. Kabel merah sebagai *input*, kabel hitam sebagai *ground* (GND) dan kabel kuning sebagai *output* data (*pin* D18 *interrupt* 5).

BAB III

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

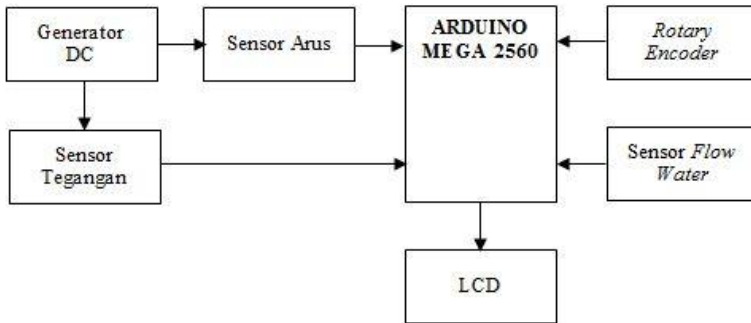
Dalam bab ini akan dibahas mengenai perancangan alat yang meliputi perencanaan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Hal tersebut guna mewujudkan Tugas Akhir yang berjudul “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro dengan Turbin *Cross Flow* Menggunakan Generator DC Magnet Permanen”. Perancangan alat akan dibahas perbagian yang disertai dengan gambar skematik.

Untuk memudahkan dalam pembahasan Bab ini akan dibagi menjadi dua yaitu:

- A. Perancangan perangkat keras (*hardware*) terdiri dari perancangan mekanik dan elektrik
 - Perancangan mekanik meliputi:
 - Motor DC
 - Generator DC
 - Perancangan Piringan Roda
 - *Rotary Encoder*
 - *Sensor Flow Water*
 - Perancangan Turbin *Cross Flow*
 - Perancangan Tempas
 - Perancangan elektrik meliputi:
 - Arduino Mega 2560
 - Perancangan Rangkaian Sensor Tegangan
 - Perancangan Rangkaian Sensor Arus
- B. Perancangan perangkat lunak (*software*) terdiri dari
 - Program Pembacaan Sensor Tegangan
 - Program Pembacaan Sensor Arus
 - Program Pembacaan *Rotary Encoder*
 - Program Pembacaan *Sensor Flow Water*
 - Program Keseluruhan

3.1. Blok Fungsional Sistem

Pada bab ini dibahas mengenai perancangan alat secara keseluruhan. Dijelaskan pula lebih terinci tiap-tiap bagian atau blok-blok penyusun alat ini berupa blok fungsional sistem.



Gambar 3.1 Blok Fungsional

Perancangan sistem dalam pembuatan alat ini secara garis besar disertai urutan dan cara kerja alat ini di ilustrasikan pada Gambar 3.1. Dari Gambar diatas dapat dilihat bahwa sistem tersebut terdiri dari beberapa blok fungsional yaitu;

- A. **Generator DC**, berfungsi sebagai objek pada Tugas Akhir ini.
- B. **Sensor Arus**, berfungsi sebagai sebagai sensor arus pada generator DC.
- C. **Sensor Tegangan**, berfungsi untuk sebagai sensor tegangan pada generator DC.
- D. **Rotary Encoder**, berfungsi sebagai sensor kecepatan pada generator DC dan turbin.
- E. **Sensor Flow Water**, berfungsi sebagai sensor pengukur debit air.
- F. **Arduino Mega 2560**, berfungsi sebagai pembacaan keseluruhan sensor yang akan ditampilkan pada LCD.
- G. **LCD**, berfungsi sebagai tampilan dari keseluruhan data yang terbaca dari keseluruhan sensor.

3.2 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Pada perancangan perangkat keras ini, prosesnya dibagi menjadi dua bagian, yaitu perancangan mekanik dan elektrik. Masing-masing perancangan tersebut selanjutnya akan dibahas lebih mendalam pada Subbab berikutnya.

3.2.1 Perancangan Mekanik

Pada perancangan mekanik ini terdiri dari motor DC, generator DC, perancangan piringan roda, *rotary encoder*, sensor *flow water*, perancangan turbin *cross flow* dan perancangan tempat.

3.2.1.1 Motor DC

Pada motor DC digunakan sebagai simulasi turbin *cross flow*. Salah satu faktor pemilihan dari motor dc yang nantinya akan dipakai yaitu kecepatan putar yang tinggi. Spesifikasi motor DC yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Gambar 3.2.

Tabel 3.1 Spesifikasi Motor DC

No.	Spesifikasi	Nilai
1.	Tegangan	24 Volt
2.	Arus	1 Ampere
3.	Kecepatan putar	1500 rpm



Gambar 3.2 Motor DC 24 Volt

3.2.1.2 Generator DC

Pada generator DC digunakan sebagai objek penghasil listrik yang berasal dari putaran turbin. Salah satu faktor pemilihan dari generator DC yang nantinya akan dipakai yaitu kecepatan putar yang tinggi dan menggunakan magnet permanen. Spesifikasi motor DC yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan Gambar 3.3.

Tabel 3.2 Spesifikasi Generator DC

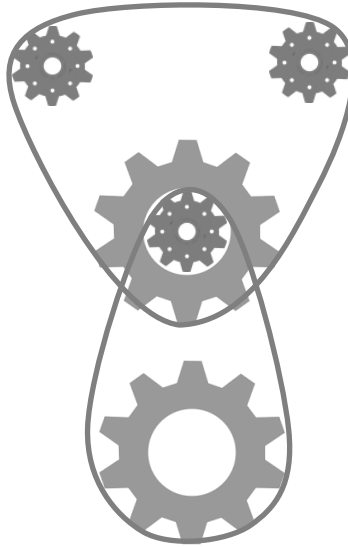
No.	Spesifikasi	Nilai
1.	Tegangan	24 Volt
2.	Arus	1 Ampere
3.	Kecepatan putar	1500 rpm



Gambar 3.3 Generator DC 24 Volt

3.2.1.3 Perancangan Piringan Roda

Perancangan piringan ini berfungsi untuk indikator dari motor DC, generator DC dan turbin *cross flow*. Piringan roda diameter 3,5cm ditempatkan pada kedua generator DC, piringan roda diameter 18 cm ditempatkan pada motor DC dan terdapat dua piringan roda untuk menghubungkan antara motor DC dan turbin *cross flow* yaitu untuk piringan roda pada motor DC memiliki diameter 3,5cm dan piringan roda pada turbin *cross flow* memiliki diameter 18 cm. Masing-masing piringan roda memiliki ketebalan 3mm dengan bahan yang terbuat dari besi. Piringan roda ini akan digabung menggunakan rantai.

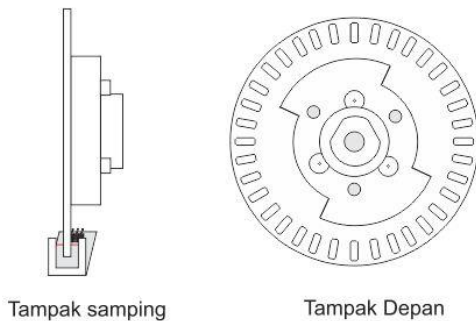


Gambar 3.4 Piringan Roda

Gambar 3.4 merupakan desain piringan roda dimana terdapat 5 piringan roda yang terhubung oleh rantai. Terdapat 2 buah piringan roda untuk generator, 1 buah piringan roda untuk motor dan 2 buah piringan roda untuk turbin.

3.2.1.4 Rotary Encoder

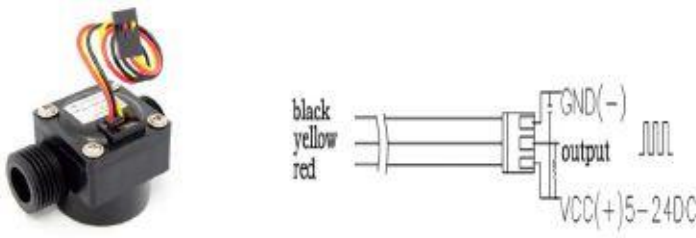
Rotary encoder digunakan untuk menentukan banyaknya putaran poros tiap menit (rpm). *Encoder* ini akan menghasilkan gelombang kotak yang frekuensinya akan bertambah bila kecepatan putar poros bertambah. *Encoder* ini diletakkan pada dua piringan roda yaitu piringan roda pada generator DC dan turbin *cross flow*. Model *rotary encoder* dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Model Rotary Encoder

3.2.1.5 Sensor Flow Water

Sensor *flow water* digunakan untuk pengukuran kecepatan aliran air. Sensor *flow water* terdiri dari katup plastik (*valve body*), rotor air dan sebuah sensor *hall effect*. Sensor ini diletakkan di dalam sungai maupun pada penyempitan aliran sungai yang menghantam sudu-sudu turbin melalui kedua saluran yang terdapat pada sensor sehingga aliran air dapat memutar baling-baling yang terdapat di dalam sensor *flow water* seperti pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Model Sensor Flow Water

3.2.1.6 Perancangan Turbin Cross Flow

Perancangan turbin ini digunakan untuk mengetahui ukuran yang tepat dalam pembuatan turbin *crossflow*. Kerangka turbin disusun secara melingkar pada sebuah lempeng besi, setelah disusun secara tepat

dengan jarak antar sudu yang sama pada kedua ujung tersebut dilas dengan menggunakan las listrik.

Berikut perhitungan untuk menentukan ukuran kerangka pada turbin *cross flow*:

A. Perhitungan Debit Air

A (lebar sungai) = 0,26 m

h (kedalaman sungai) = 0,32 m

Data current meter menggunakan *propeller*:

n1 = 91

n2 = 87

n3 = 86

t current meter (waktu) = 15 s

Panjang *propeller*

$$x = 0,6 \times h \dots\dots\dots (3.1)$$

$$x = 0,6 \times 0,32$$

$$= 0,192 \text{ m}$$

$$\text{Panjang } \textit{propeller} = h - x \dots\dots\dots (3.2)$$

$$\text{Panjang } \textit{propeller} = 0,32 - 0,192 = 0,128 \text{ m (pengaturan } \textit{propeller})$$

Rata-rata putaran *propeller*

$$\sum N = n1 + n2 + n3 \dots\dots\dots (3.3)$$

$$\sum N = 91 + 87 + 86$$

$$= 88$$

$$n = \sum N / 15 \text{ s} \dots\dots\dots (3.4)$$

$$n = 88 / 15 \text{ s}$$

$$n = 5,86$$

Kecepatan aliran sungai

Pada pengukuran menggunakan *propeller* 1 dengan nilai data yang tertera pada *propeller* sebagai berikut:

Tabel 3.3 Spesifikasi Menggunakan *Propeller* 1

Putaran Propeller (n)	Rumus Kecepatan
$n \leq 2,57$	$v = 0,0626 n + 0,015$
$2,57 \leq n \leq 7,50$	$v = 0,0552 n + 0,034$
$7,50 \leq n \leq 17,79$	$v = 0,0536 n + 0,046$

Tabel 3.3 merupakan spesifikasi dari *propeller* tipe 1. Terdapat 3 macam tipe *propeller* yang digunakan, tetapi pada Tugas Akhir ini *propeller* yang digunakan jenis *propeller* 1.

$$v = 0,0552 n + 0,034 \dots \dots \dots (3.5)$$

$$v = 0,0552 \times 5,86 + 0,034$$

$$= 0,357 \text{ m/s}$$

Debit air

$$Q = v \times A \times h \dots \dots \dots (3.6)$$

$$Q = 0,357 \times 0,26 \times 0,32$$

$$= 0,029 \text{ m}^3/\text{s}$$

B. Perhitungan Turbin *Cross Flow* Menggunakan Persamaan Mockmore

Diameter Luar (L) dan Lebar Sudu Turbin (D)

$$LD = \frac{2,627 \times Q}{\sqrt{H}} \dots \dots \dots (3.8)$$

$$LD = \frac{2,627 \times 0,029}{\sqrt{0,2}}$$

$$LD = 0,19 \text{ m}^2$$

Diameter yang dipilih adalah 1 m atau 100 cm dan lebar sudu 0,19 m atau 19 cm

Ketebalan Turbin (D2)

$$D2 = 2/6 \times D \dots \dots \dots (3.9)$$

$$D2 = 2/6 \times 1$$

$$= 0,33 \text{ m atau } 33 \text{ cm}$$

Jarak antar Sudu (t)

$$t = 0,087 \times D \dots \dots \dots (3.10)$$

$$t = 0,087 \times 1$$

$$= 0,087 \text{ m atau } 8,7 \text{ cm}$$

Jumlah Sudu

$$n = \frac{\pi \times D}{t} / 3 \dots \dots \dots (3.11)$$

$$n = \frac{\pi \times 1}{0,087} / 3$$

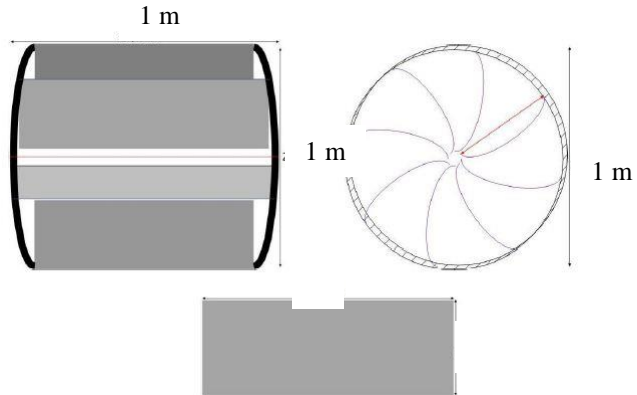
$$= 13 \text{ buah}$$

Dari perhitungan tersebut pada Tugas Akhir ini dibuat rancangan turbin *cross flow* dengan data-data sesuai perhitungan diantaranya penentuan diameter turbin, lebar sudu, tebal turbin, jarak antar sudu dan jumlah sudu. Spesifikasi turbin *cross flow* dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Spesifikasi Dimensi Turbin *Crossflow*

Parameter	Nilai
Diameter turbin	1 m
Lebar sudu	0,19 m
Tebal Turbin	0,33 m
Jarak antar sudu	0,087 m
Jumlah sudu	13 buah

Dari spesifikasi dimensi turbin *cross flow* yang telah didata sesuai perhitungan, maka dibuat sebuah desain rancangan turbin. Hasil rancangan turbin *cross flow* dapat dilihat pada Gambar 3.7.

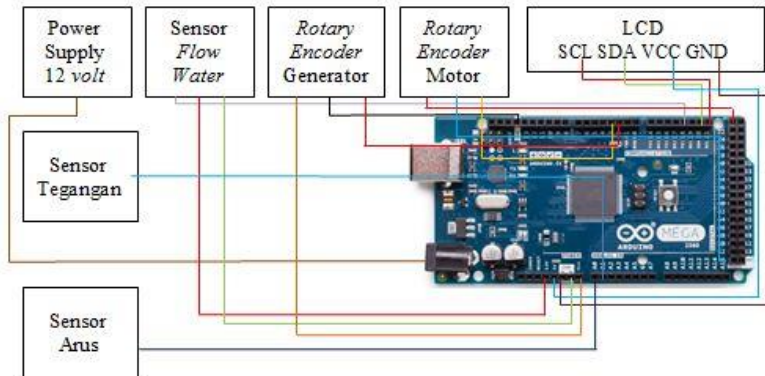


Gambar 3.7 Perancangan Turbin *Crossflow*

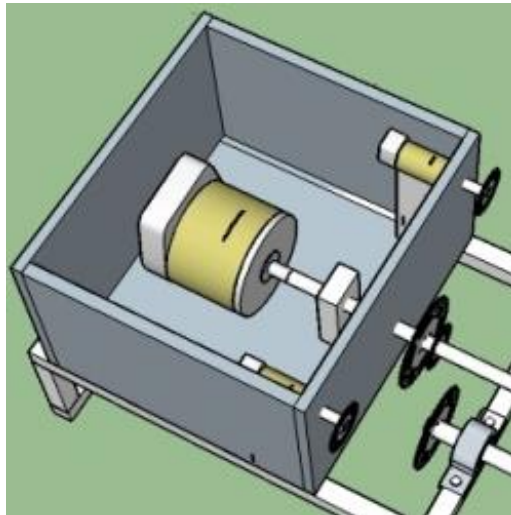
3.2.1.7 Perancangan Tempat

Perancangan tempat digunakan sebagai tempat penempatan generator DC maupun motor DC, penyangga turbin serta tempat penempatan komponen elektrik lainnya. Perancangan tempat ini terbuat dari besi dan akrilik yang dibentuk sedemikian rupa untuk mengakomodasi berbagai komponen yang ada. Perancangan tempat generator DC dan motor DC ini memiliki dimensi 30 cm x 40 cm x 40 cm dengan tebal 3 mm, penyangga turbin 1,75 m x 1,45 m dan perancangan tempat penempatan komponen elektrik 20 cm x 15 cm x 13 cm dengan tebal 3 mm.

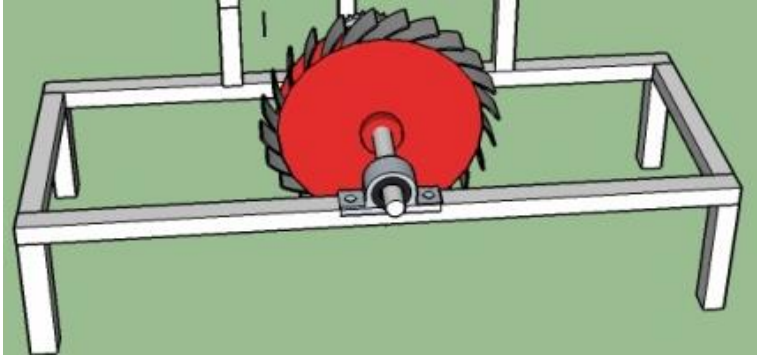
Berikut ini Gambar 3.8, Gambar 3.9, Gambar 3.10, Gambar 3.11 dan Gambar 3.12 merupakan gambar desain mekanik perancangan tempat yang digunakan dalam alat ini.



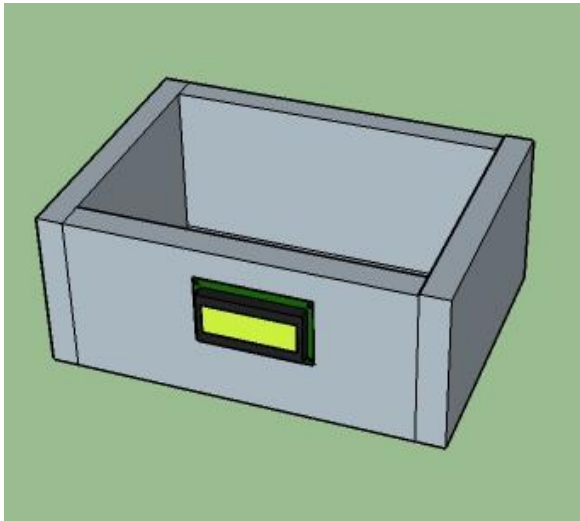
Gambar 3.8 Perancangan Skematik Arduino



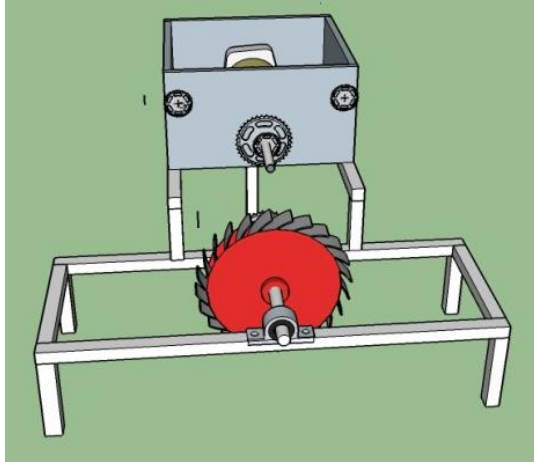
Gambar 3.9 Perancangan Tempat Generator DC dan Motor DC



Gambar 3.10 Perancangan Tempat Turbin *Cross Flow*



Gambar 3.11 Perancangan Tempat Komponen Elektrik



Gambar 3.12 Perancangan Mekanik Keseluruhan

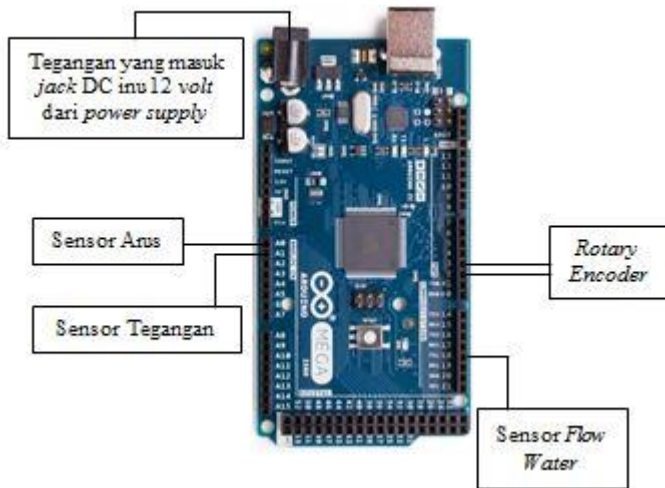
3.2.2 Perancangan Elektrik

Pada perancangan elektrik ini terdiri dari Arduino Mega 2560, perancangan rangkaian sensor tegangan dan perancangan rangkaian sensor arus.

3.2.2.1 Arduino Mega 2560

Dalam perancangan perangkat keras terdapat rangkaian Arduino Mega 2560. Arduino Mega 2560 berfungsi untuk sebagai pembacaan data dari keseluruhan sensor. Spesifikasi pada Arduino Mega 2560 ini ialah hanya menerima *inputan* sekitar 0-5 Volt, jika lebih dari 5 Volt maka arduino tersebut akan rusak.

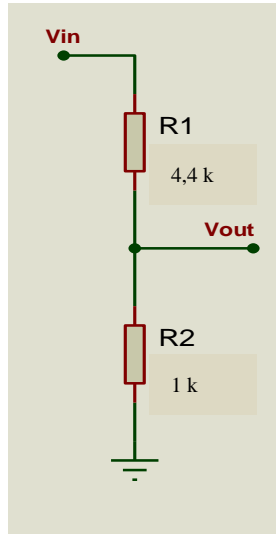
Untuk penggunaan kaki - kaki pada *pin* Arduino Mega 2560 yaitu yang pertama pada *Pin* D2 dan *pin* D3 digunakan untuk *rotary encoder*, *pin* A1 digunakan untuk sensor tegangan, *pin* A0 digunakan untuk sensor arus serta *pin* D18 digunakan untuk sensor *flow water*. Sumber *input* nya masuk melalui *jack* DC dengan tegangan *input* 12 volt dari *power supply*. Rangkaian mikrokontroler Arduino Mega 2560 dapat dilihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Rangkaian Arduino Mega 2560

3.2.2.2 Perancangan Rangkaian Sensor Tegangan

Sensor tegangan yang digunakan adalah rangkaian pembagi tegangan. Rangkaian pembagi tegangan berfungsi sebagai konversi tegangan dari generator dc magnet permanen. Tegangan *output* yang dihasilkan generator dc magnet permanen dimisalkan 0 – 27 Volt, sedangkan tegangan yang dimasukkan pada mikrokontroler 0 sampai 5 Volt. Tegangan *input* sensor merupakan besarnya tegangan yang ingin diukur. Sedangkan tegangan *output* sensor tegangan merupakan hasil keluaran dari rangkaian pembagi tegangan yang masuk pada ADC mikrokontroler. Besarnya tegangan maksimal yang akan diukur adalah 27 volt sedangkan tegangan untuk masukan ADC mikrokontroler maksimal 5 volt. Gambar 3.14 merupakan rangkaian pembagi tegangan yang sesuai dengan data perhitungan.



Gambar 3.14 Rangkaian Pembagi Tegangan

Perhitungan rangkaian pembagi tegangan sebagai berikut :

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{in}$$

Misalkan $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$

$V_{out} = 5 \text{ Volt}$ (V mikrokontroler)

$V_{in} = 27 \text{ Volt}$ (V *input* dari generator dc magnet permanen)

$$5 = \frac{R_2}{R_1 + 1\text{k}\Omega} \times 27$$

$$5R_1 + 5\text{k} = 27R_1$$

$$5R_1 = 22\text{k}$$

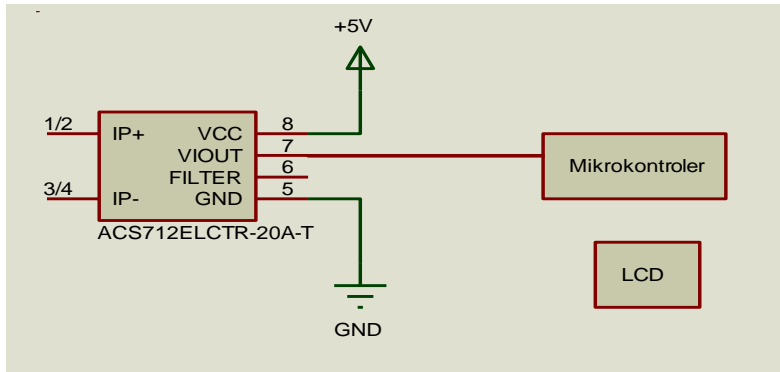
$$R_1 = 4,4 \text{ k}\Omega$$

Jadi dalam rangkaian *voltage divider* digunakan 3 resistor yaitu resistor 2,2 kΩ sebanyak dua dan resistor 1 kΩ.

3.2.2.3 Perancangan Rangkaian Sensor Arus

Sensor arus yang digunakan adalah ACS712. Pin IP+ dan IP- terhubung pada input. Sensor arus dicatu oleh tegangan dari generator DC. Keluaran sensor arus Vout terhubung ke pin ADC mikrokontroler. Sensor arus ini digunakan untuk membaca besarnya arus *output* pada

generator DC. Pada *datasheet* ACS712 dapat dilihat bahwa hasil pembacaan sensor arus berupa tegangan DC dengan kondisi awal (arus *input* = 0) 2,5 volt. Pada Tugas Akhir ini digunakan satu buah sensor arus ACS-712 ELCTR-20AT dengan rating pembacaan arus maksimal 20 *ampere*. Gambar 3.15 merupakan rangkaian sensor arus dimana sensor arus ini digunakan untuk mengukur arus yang dihasilkan oleh generator DC magnet permanen.

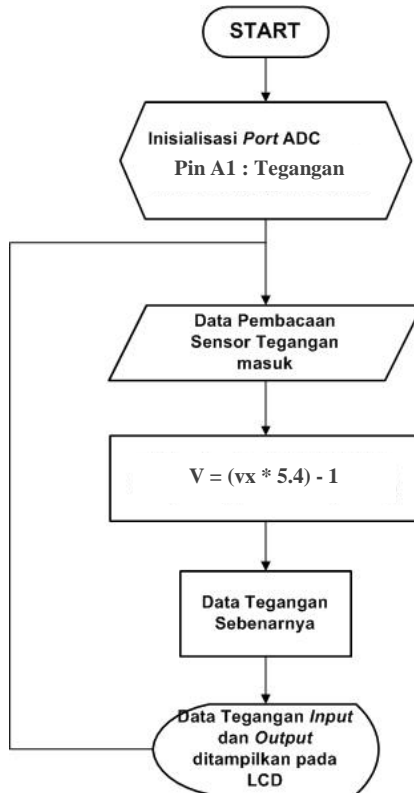


Gambar 3.15 Rangkaian Sensor Arus

3.3 Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

Pada perancangan perangkat lunak ini, prosesnya dibagi menjadi enam bagian, yaitu program pembacaan sensor tegangan, program pembacaan sensor arus, program pembacaan *rotary encoder* generator DC, program pembacaan *rotary encoder* turbin *cross flow* dan program pembacaan sensor *flow water*.

3.3.1 Program Pembacaan Sensor Tegangan



Gambar 3.16 Flowchart Pembacaan Sensor Tegangan

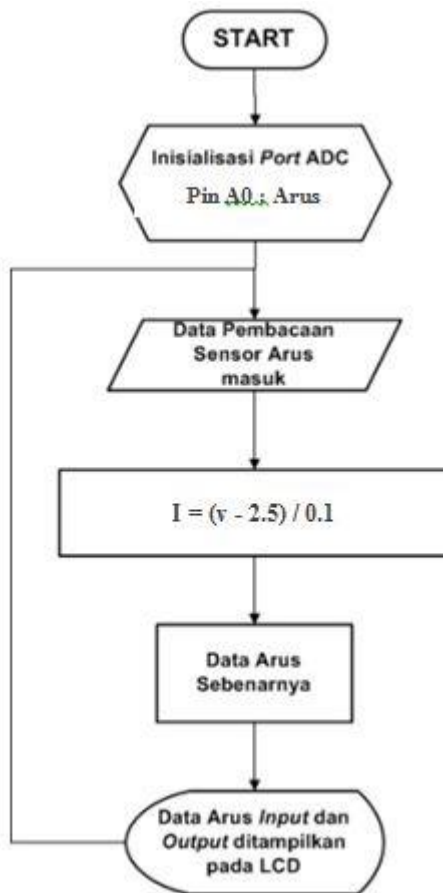
Penjelasan *flowchart* adalah sebagai berikut:

1. *Start* adalah ketika program dimulai.
2. Inisialisasi Pin ADC Mikrokontroler, sensor tegangan *output* generator DC dibaca di Pin A1.
3. Data yang masuk pada port ADC berupa tegangan dengan range 1-5 *volt* kemudian dikonversi ke tegangan sebenarnya.
4. Data tegangan *output* yang sudah di konversi akan ditampilkan pada LCD.

```
int dataadcx = analogRead(A1);
float vx = dataadcx * (5.0 / 1023.0);
float tegangan = (vx * 5.4) - 1;
```

Gambar 3.17 Contoh Segmen Program Pembacaan Sensor Tegangan

3.3.2 Program Pembacaan Sensor Arus



Gambar 3.18 Flowchart Program Pembacaan Sensor Arus

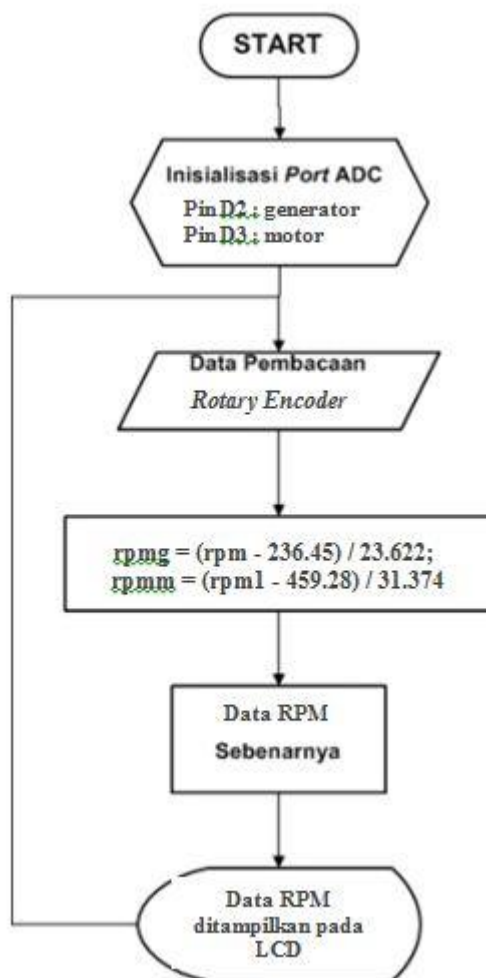
Penjelasan *flowchart* sebagai berikut:

1. *Start* adalah ketika program dimulai.
2. Inisialisasi Pin ADC Mikrokontroler, sensor arus *output* generator DC dibaca di Pin A0.
3. Data yang masuk pada port ADC berupa tegangan. Ketika mendapat arus input 0 maka terbaca 2.5 volt. Sensor Arus memiliki resolusi 100mV/Ampere
4. Data arus *output* ditampilkan pada LCD.

```
int dataadc = analogRead(A0);  
float v = dataadc * (5.0 / 1023.0);  
float arus = (v - 2.5) / 0.1;
```

Gambar 3.19 Contoh Segmen Program Pembacaan Sensor Arus

3.3.3 Program Pembacaan *Rotary Encoder*



Gambar 3.20 Flowchart Program Pembacaan *Rotary Encoder*

Penjelasan *flowchart* sebagai berikut:

1. *Start* adalah ketika program dimulai.

2. Inisialisasi Pin ADC Mikrokontroler, *rotary encoder* pada generator DC dibaca di Pin D2 dan *rotary encoder* pada turbin dibaca di Pin D3.
3. Data yang masuk pada port ADC berupa *pulse*.
4. Data rpm generator DC dan rpm turbin *cross flow* ditampilkan pada LCD.

```
volatile byte half_revolutions;
unsigned int rpm;
unsigned long timeold;

volatile byte half_revolutions1;
unsigned int rpm1;
unsigned long timeold1;
attachInterrupt(0, rpm_fun, RISING);
half_revolutions = 0;
rpm = 0;
timeold = 0;

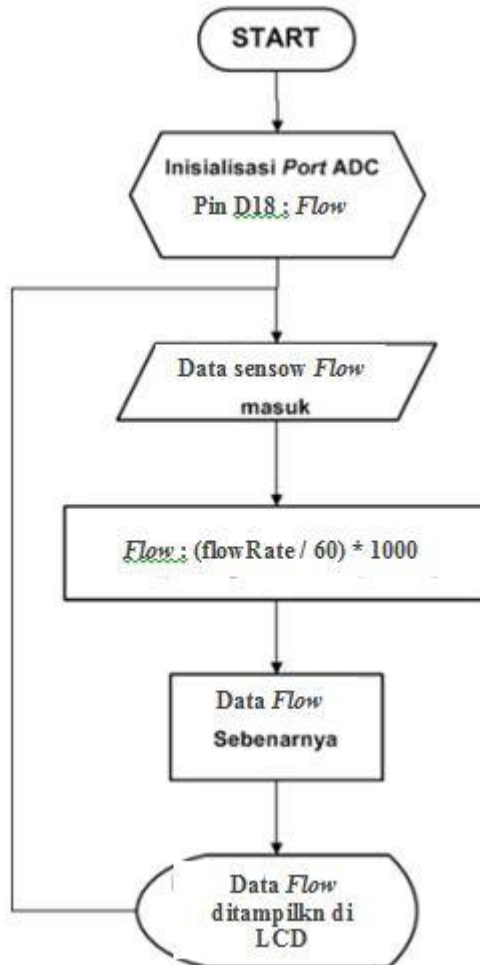
attachInterrupt(1, rpm_fun1, RISING);
half_revolutions1 = 0;
rpm1 = 0;
timeold1 = 0;
// if (half_revolutions >= 10) {
//   //Update RPM every 20 counts, increase this for better RPM resolution,
//   //decrease for faster update
//   rpm = 30*1000/(millis() - timeold)*half_revolutions;
//   timeold = millis();
//   half_revolutions = 0;
//   //Serial.println(rpm,DEC);
// }

// if (half_revolutions1 >= 10) {
//   //Update RPM every 20 counts, increase this for better RPM resolution,
//   //decrease for faster update
//   rpm1 = 30*1000/(millis() - timeold1)*half_revolutions1;
//   timeold1 = millis();
//   half_revolutions1 = 0;
//   //Serial.println(rpm,DEC);
// }
```

```
float rpmg = (rpm - 236.45) / 23.622;
float rpmm = (rpm1 - 459.28) / 31.374;
```

Gambar 3.21 Contoh Segmen Program Pembacaan *Rotary Encoder*

3.3.4 Program Pembacaan *Sensor Flow Water*



Gambar 3.22 Flowchart Program Pembacaan *Sensor Flow Water*

Penjelasan *flowchart* sebagai berikut:

1. *Start* adalah ketika program dimulai.
2. Inisialisasi Pin ADC Mikrokontroler, sensor *flow water* dibaca di Pin D18.
3. Data yang masuk pada port ADC berupa *pulse*.
4. Data sensor *flow water* ditampilkan pada LCD.

```
byte sensorInterrupt = 5;
byte sensorPin       = 18;

float calibrationFactor = 4.5;

volatile byte pulseCount;

unsigned int frac;
float flowRate;
float flowMilliLitres;
float totalMilliLitres;

if((millis() - oldTime) > 1000)    // Only process counters once per second
{
    detachInterrupt(sensorInterrupt);
    flowRate = ((1000.0 / (millis() - oldTime)) * pulseCount) / calibrationFactor;
    oldTime = millis();
    flowMilliLitres = (flowRate / 60) * 1000;
    totalMilliLitres += flowMilliLitres;

    // Print the flow rate for this second in litres / minute
    //Serial.print("Flow rate: ");
    //Serial.print(int(flowRate)); // Print the integer part of the variable
    //Serial.print(".");           // Print the decimal point
    // Determine the fractional part. The 10 multiplier gives us 1 decimal place.
    frac = (flowRate - int(flowRate)) * 10;
    //Serial.print(frac, DEC);     // Print the fractional part of the variable
    //Serial.print("L/min");
    // Print the number of litres flowed in this second
```



```
float kecepatan = flowMilliLitres / 100;  
lcd.setCursor(-4,2);  
lcd.print("Flow= ");  
lcd.print(kecepatan);  
lcd.print(" m/s      ");
```

Gambar 3.23 Contoh Segmen Program Pembacaan Sensor *Flow Water*

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

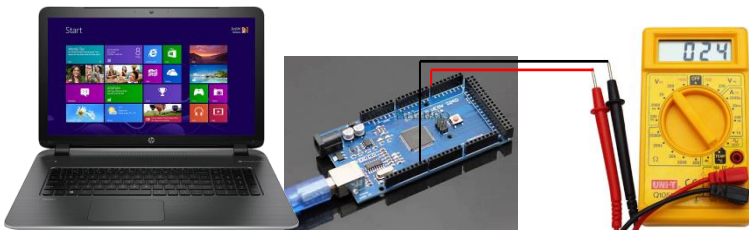
BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISA ALAT

Pada bab ini akan dibahas mengenai pengujian dan analisa data pengujian alat dari hasil perancangan PLTMH dengan turbin *cross flow* menggunakan DC magnet permanen yang telah dibuat. Pengujian alat ini ditujukan untuk memastikan agar peralatan dapat berfungsi dengan baik.

Pengujian alat ini meliputi pengujian tegangan *output* mikrokontroler, pengujian *rotary encoder*, pengujian sensor *flow water*, pengujian sensor tegangan, pengujian sensor arus dan pengujian keseluruhan sistem. Setelah melakukan beberapa pengujian alat, data yang diperoleh akan dianalisa untuk mengetahui proses kerja dari seluruh sistem alat yang dibuat.

4.1 Pengujian Tegangan *Output* Mikrokontroler



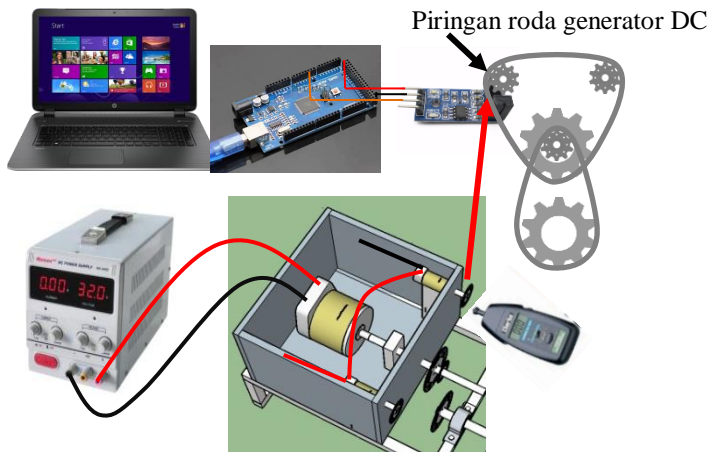
Gambar 4.1 Rangkaian Pengujian *Vout* Mikrokontroler

Mikrokontroler yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah menggunakan ATmega2560 (Arduino Mega 2560). Untuk mengetahui pin yang terdapat pada mikrokontroler dapat digunakan dan tegangan yang dikeluarkan sesuai *datasheet*, maka perlu dilakukan pengukuran pada tegangan keluaran mikrokontroler dengan cara mengukur tegangan pada setiap pin pada Arduino Mega 2560. Program di *upload* melalui laptop ke Arduino Mega 2560. Mengukur pada setiap pin *board* arduino dalam keadaan *high voltage* dan *low voltage*. Tegangan *input* yang digunakan bersumber dari USB laptop sebesar +5 volt. Dari hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel D.1 di Lampiran D.

4.2 Pengujian *Rotary Encoder*

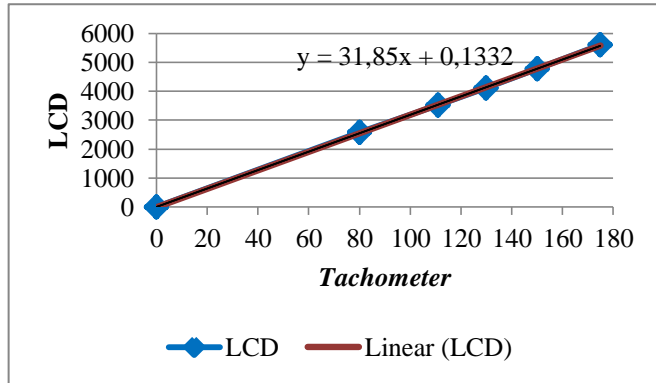
Pengujian *rotary encoder* dilakukan untuk mengambil data putaran (rpm) yang terbaca oleh *rotary encoder*. Pengujian ini terbagi menjadi dua, yaitu pengujian awal *rotary encoder* pada generator DC magnet permanen dan pengujian kedua *rotary encoder* pada turbin *cross flow*.

4.2.1 Pengujian *Rotary Encoder* pada Generator DC



Gambar 4.2 Rangkaian Pengujian *Rotary Encoder* pada Generator DC

Pengujian *rotary encoder* dilakukan untuk mengambil data putaran (rpm) pada generator DC yang terbaca oleh sensor. Selanjutnya melakukan kalibrasi dengan membandingkan hasil yang terbaca dari alat ukur berupa *tachometer* dan LCD. *Tachometer* merupakan alat untuk mengukur kecepatan putaran. Dari hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel D.2 di Lampiran D. Selanjutnya dari data Tabel D.2 dibuatlah grafik seperti pada Gambar 4.3.

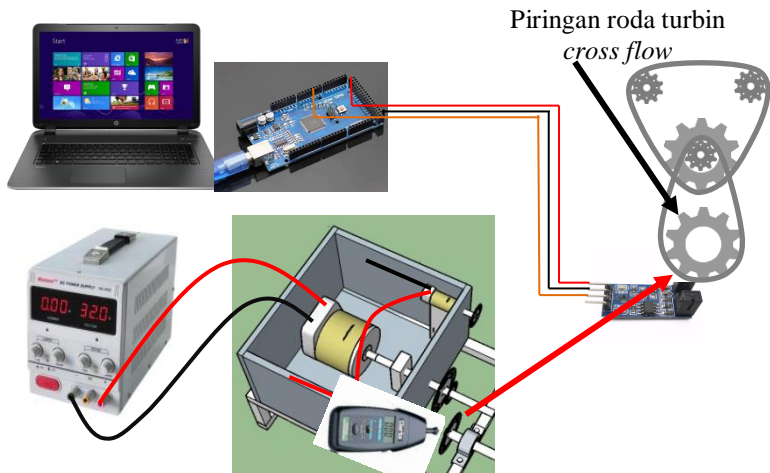


Gambar 4.3 Pengujian *Rotary Encoder* pada Generator DC

Dari pengujian grafik pada Gambar 4.3 dapat dianalisa bahwa karakteristik dari *rotary encoder* pada generator DC adalah berbentuk linier. Hasil pengujian pada *rotary encoder* pada generator DC menghasilkan persamaan:

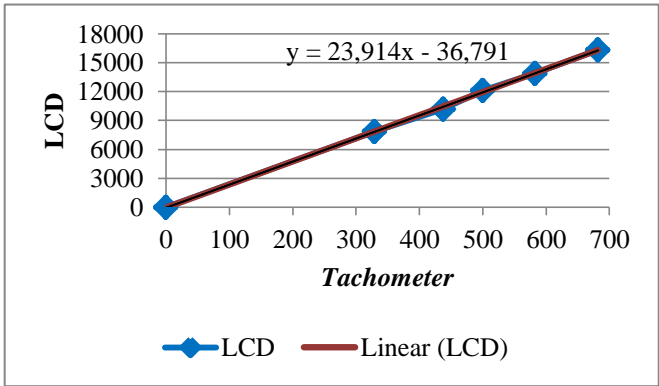
$$y = 31.855x + 0.13332 \dots\dots\dots (4.1)$$

4.2.2 Pengujian *Rotary Encoder* pada Turbin *Cross Flow*



Gambar 4.4 Rangkaian Pengujian *Rotary Encoder* pada Turbin

Pengujian *rotary encoder* dilakukan untuk mengambil data putaran (rpm) pada turbin *cross flow* yang terbaca oleh sensor. Selanjutnya melakukan kalibrasi dengan membandingkan hasil yang terbaca dari alat ukur berupa *tachometer* dan LCD. *Tachometer* merupakan alat untuk mengukur kecepatan putaran. Dari hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel D.3 di Lampiran D. Selanjutnya dari data Tabel D.3 dibuatlah grafik seperti pada Gambar 4.4.

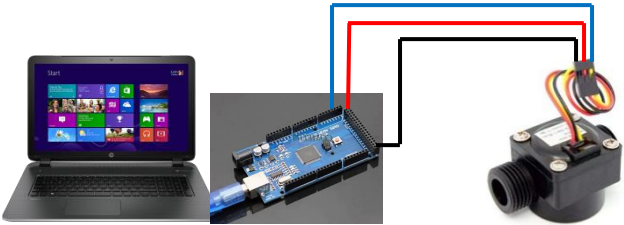


Gambar 4.5 Pengujian *Rotary Encoder* pada Turbin

Dari pengujian grafik pada Gambar 4.5 dapat dianalisa bahwa karakteristik dari *rotary encoder* pada turbin *cross flow* adalah juga berbentuk linier. Hasil pengujian pada *rotary encoder* pada turbin *cross flow* menghasilkan persamaan:

$$y = 323.914x - 36.791 \dots\dots\dots (4.2)$$

4.3 Pengujian Sensor Flow Water

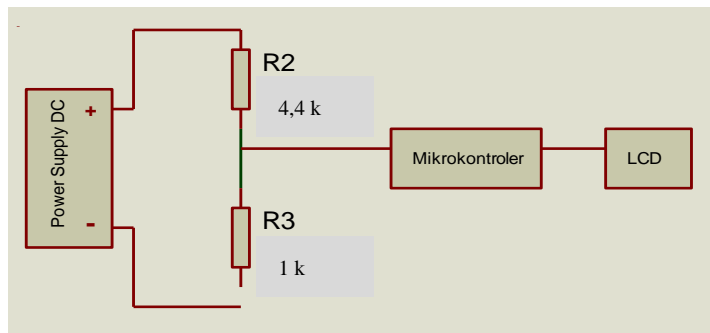


Gambar 4.6 Rangkaian Pengujian Sensor *Flow Water*

Pengujian sensor *flow water* dilakukan untuk mengambil data kecepatan aliran air (*flow*) yang terbaca oleh sensor. Pengujian sensor dilakukan dengan mengalirkan air pada lubang yang terdapat pada sensor. Selanjutnya melakukan kalibrasi dengan mengubah satuan liter/sekon menjadi meter/sekon. Rumus hasil pengujian pada sensor *flow water*:

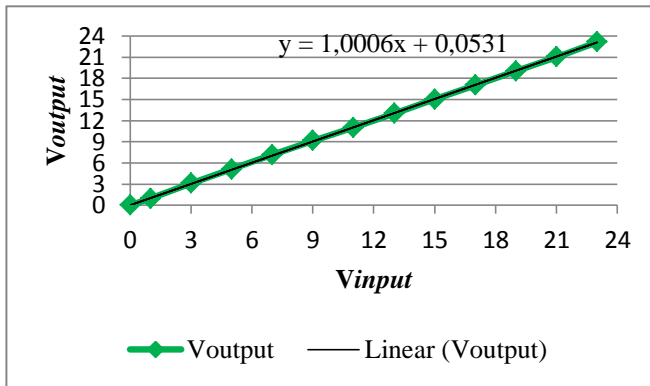
$$\text{Flow} = (\text{data} / 60) \times 1000 \dots\dots\dots (4.3)$$

4.4 Pengujian Sensor Tegangan



Gambar 4.7 Rangkaian Pengujian Sensor Pembagi Tegangan

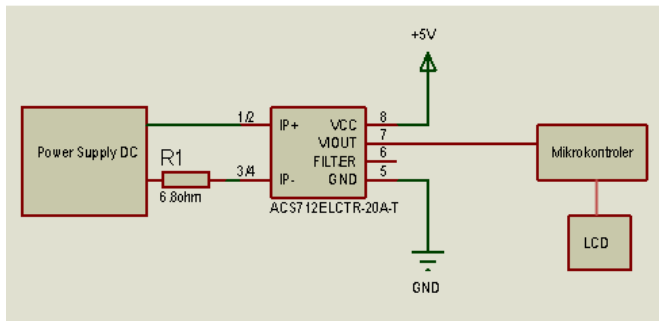
Sensor Tegangan menggunakan rangkaian *voltage divider*. Pengujian *voltage divider* dilakukan untuk mengambil data tegangan yang terbaca oleh rangkaian *voltage divider*. Pengujian *voltage divider* menggunakan fasilitas ADC pada mikrokontroler, tegangan *output* pada rangkaian pembagi tegangan ditampilkan pada LCD. Pengujian sensor tegangan dilakukan dengan menyambungkan *input* rangkaian pembagi tegangan dengan *power supply variable*. Tegangan yang keluar dari *powersupply* diatur dengan menggunakan potensiometer. Tegangan *output* yang terukur dimunculkan pada LCD. Dari hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel D.4 di Lampiran D. Selanjutnya dari data Tabel D.4 dibuatlah grafik seperti pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Pengujian Sensor Pembagi Tegangan

Dari pengujian grafik pada Gambar 4.8 dapat dianalisa bahwa karakteristik dari sensor tegangan adalah berbentuk linier. Nilai tegangan *input* dan nilai tegangan *output* sensor yang terukur hampir sama. Terdapat *error* atau kesalahan dalam sistem sebesar 0,006%.

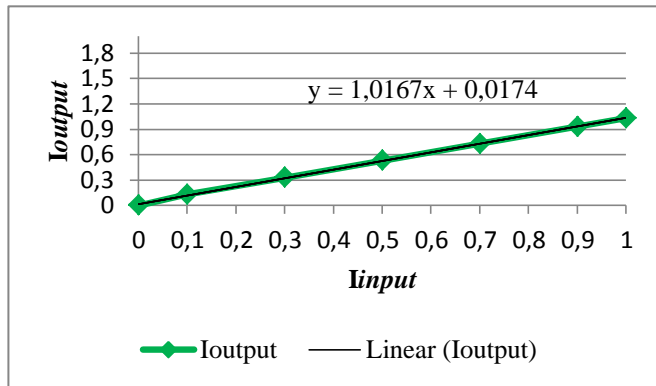
4.5 Pengujian Sensor Arus



Gambar 4.9 Rangkaian Pengujian Sensor Arus

Sensor arus yang digunakan adalah ACS 712. Pengujian sensor arus dilakukan untuk mengambil data arus yang terbaca oleh sensor arus. Pada pengujian diberikan beban berupa resistor 6.8 Ω dan

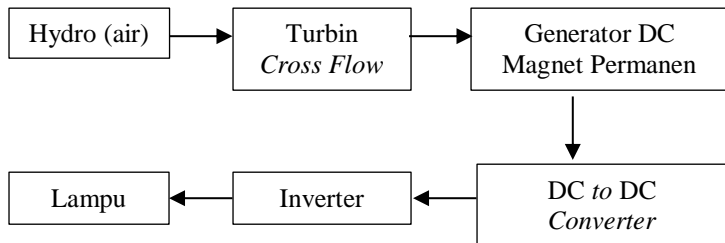
dihubungkan pada mikrokontroler sebagai pengendali. Sumber tegangan yang digunakan adalah *power supply variable*. Untuk menguji besarnya arus yang terukur oleh sensor arus, dialirkan tegangan *input* yang berbeda. Dari hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel D.5 di Lampiran D. Selanjutnya dari data Tabel D.5 dibuatlah grafik seperti pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Pengujian Sensor Arus

Dari pengujian grafik pada Gambar 4.10 dapat dianalisa bahwa karakteristik dari sensor arus adalah berbentuk linier. Nilai arus *input* dan nilai arus *output* sensor yang terukur hampir sama. Terdapat *error* atau kesalahan dalam sistem sebesar 0,026%.

4.6 Pengujian Keseluruhan



Gambar 4.11 Rangkaian Pengujian Keseluruhan

Pengujian keseluruhan dilakukan untuk mengetahui performa sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Pengujian keseluruhan menggunakan *hydro* (air), generator DC magnet permanen sebagai pengubah energi kinetik dari turbin *cross flow* menjadi energi listrik berupa tegangan (*volt*), luarannya distabilkan oleh *buck-boost converter* dan digunakan untuk mengisi baterai dengan kapasitas 12 *volt*, tegangan *output* yang dihasilkan oleh *buck-boost converter* adalah 12 *volt* DC yang selanjutnya akan diubah menjadi tegangan AC melalui inverter. Dari hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel D.6 di Lampiran D. Selanjutnya dari data Tabel D.6 dibuatlah grafik.

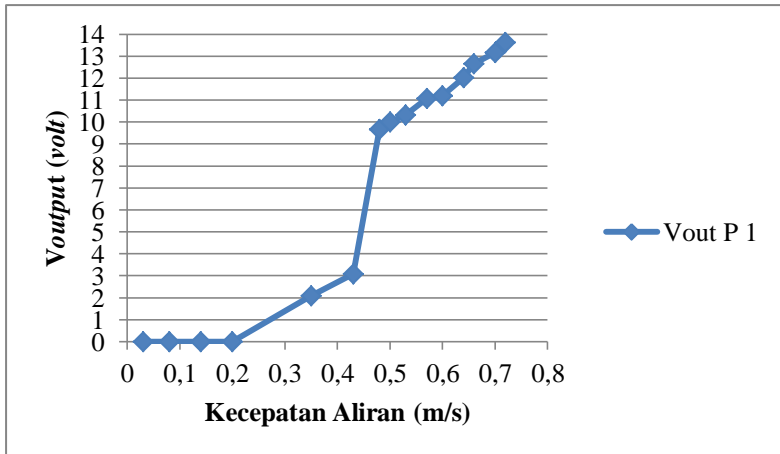
Pengujian ini dilakukan sebanyak dua kali dengan simulasi sungai yang terdapat di Laboratorium Keairan dan Teknik Pantai Departemen Teknik Sipil FTSP-ITS Kampus ITS Sukolilo.



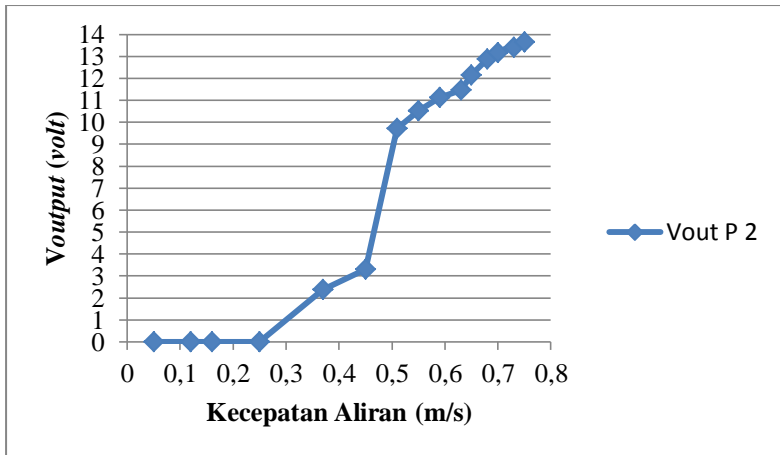
Gambar 4.12 Pengujian Keseluruhan PLTMH

4.6.1 Pengujian Kecepatan Aliran Sungai dengan Tegangan *Output* Pada Generator DC Magnet Permanen

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tegangan *output* maksimal yang dihasilkan generator DC magnet permanen sehingga *buck-boost converter* dapat bekerja dengan baik dengan tegangan kerja yaitu 9,66 *volt* DC.



Gambar 4.13 Grafik Kecepatan Aliran Sungai dan Tegangan Output Generator DC Pengujian ke-1



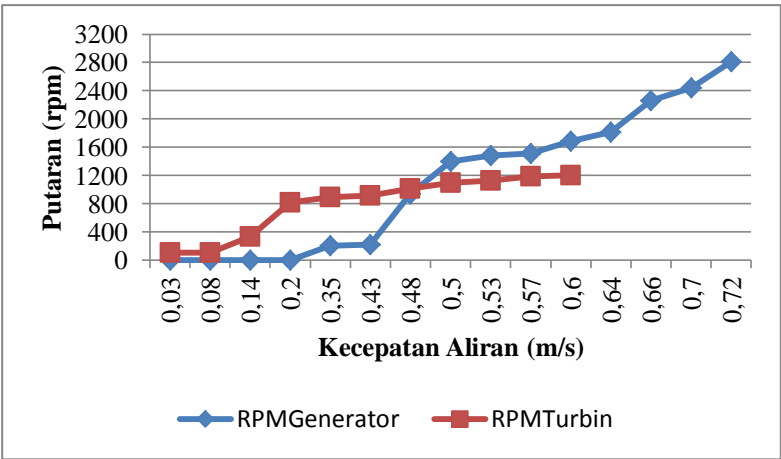
Gambar 4.14 Grafik Kecepatan Aliran Sungai dan Tegangan Output Generator DC Pengujian ke-2

Gambar 4.13 dan Gambar 4.14 merupakan pengujian pertama dan kedua dengan kecepatan aliran sungai yang berbeda-beda. Semakin tinggi kecepatan aliran sungai, maka tegangan *output* yang dihasilkan

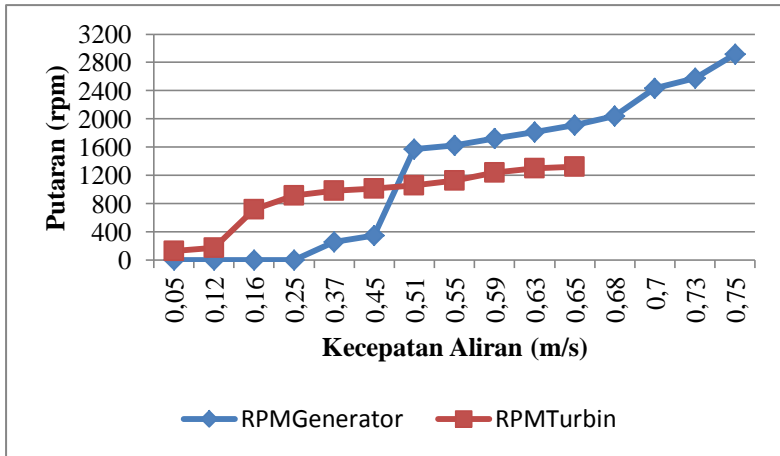
oleh generator DC magnet permanen akan semakin besar. Tegangan *output* minimal adalah 2,09 volt DC dan tegangan *output* maksimal adalah 13,65 volt DC. Pada saat kecepatan aliran sungai 0,48 m/s menghasilkan tegangan *ouput* generator DC magnet permanen 9,67 volt maka *buck-boost converter* akan bekerja.

4.6.2 Pengujian Kecepatan Aliran Sungai dengan Putaran Pada Generator DC Magnet Permanen dan Turbin *Cross Flow*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kecepatan putar yang dihasilkan generator DC megnet permanen dan turbin *cross flow* dengan aliran yang berbeda-beda.



Gambar 4.15 Grafik Kecepatan Aliran Sungai dan Putaran Pengujian ke-1

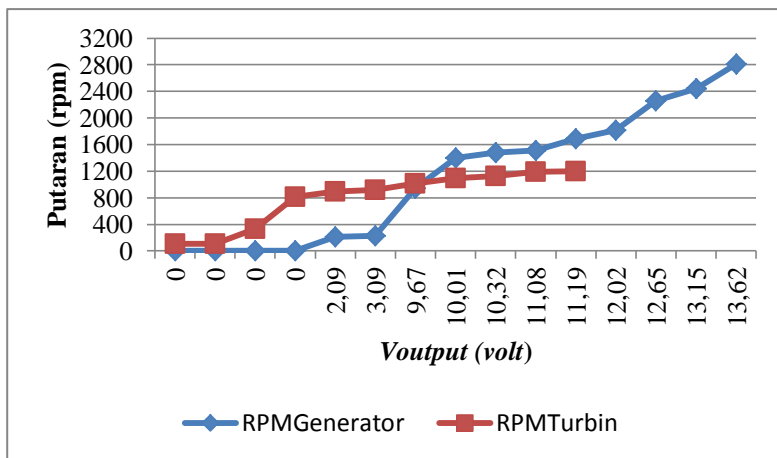


Gambar 4.16 Grafik Kecepatan Aliran Sungai dan Putaran Pengujian ke-2

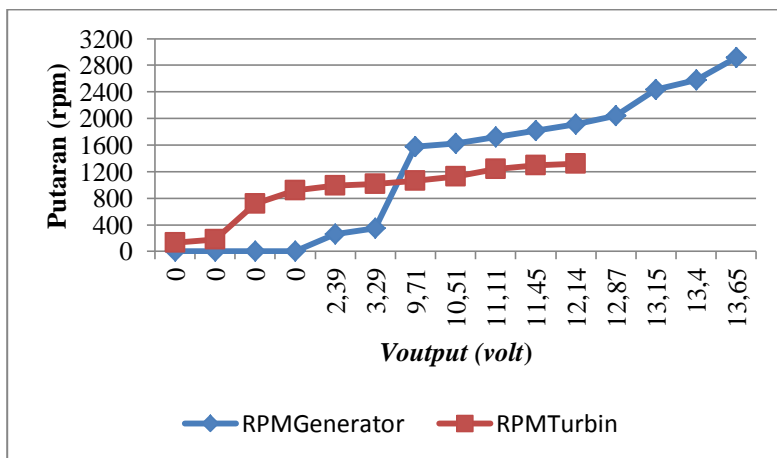
Gambar 4.15 dan Gambar 4.16 merupakan pengujian pertama dan kedua dengan kecepatan aliran sungai yang berbeda-beda. Semakin tinggi kecepatan aliran sungai, maka putaran (rpm) yang dihasilkan generator DC magnet permanen dan turbin *cross flow* akan semakin besar. Kecepatan putar (rpm) maksimal yang dihasilkan generator DC adalah 2918 dan kecepatan putar (rpm) maksimal yang dihasilkan turbin *cross flow* adalah 132. Kecepatan putar pada generator DC magnet permanen lebih besar dari kecepatan pada kecepatan putar aslinya yaitu 1500 dikarena terdapat kopel yang menghubungkan antara dua generator DC dengan sebuah turbin. Kopel yang digunakan adalah berjenis *V-belt*.

4.6.3 Pengujian Tegangan *Output* dengan Putaran Pada Generator DC Magnet Permanen dan Turbin *Cross Flow*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tegangan *output* yang dihasilkan generator DC magnet permanen dan turbin *cross flow* dari putaran yang dihasilkan keduanya.



Gambar 4.17 Grafik Tegangan *output* dan Putaran Pengujian ke-1



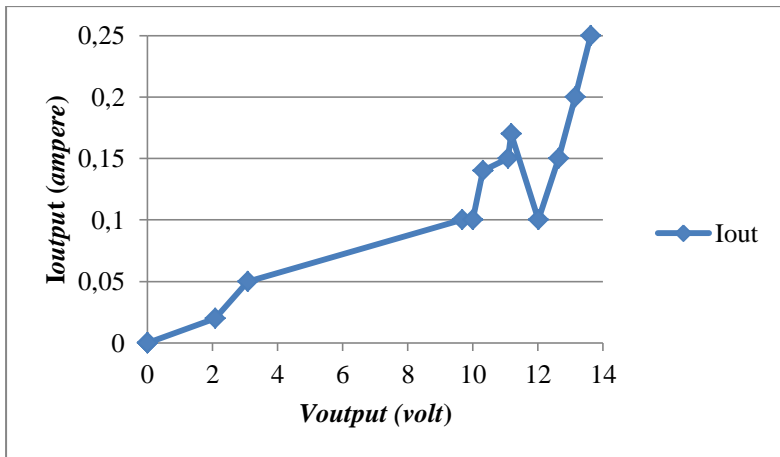
Gambar 4.18 Grafik Tegangan *output* dan Putaran Pengujian ke-2

Gambar 4.17 dan Gambar 4.18 merupakan pengujian pertama dan kedua dengan putaran yang dihasilkan generator DC dan turbin. Semakin tinggi putaran (rpm) pada turbin, maka tegangan *output* yang dihasilkan generator DC semakin besar. Pada putaran minimal 942 pada generator DC dan 335 pada turbin *cross flow* tegangan *output* yang

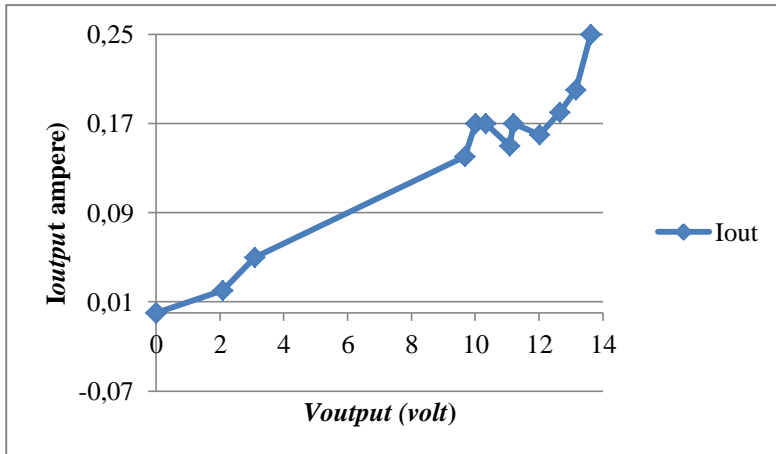
dihasilkan generator DC adalah 9,67 volt sehingga *buck-boost converter* sudah mulai bekerja.

4.6.4 Pengujian Tegangan *Output* dengan Arus *Output* Pada Generator DC Magnet Permanen

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui arus *output* yang dihasilkan generator DC magnet permanen dari tegangan yang dihasilkan generator DC.



Gambar 4.19 Grafik Tegangan *Output* dan Arus *Output* Pada Generator DC Magnet Permanen Pengujian ke-1



Gambar 4.20 Grafik Tegangan *Output* dan Arus *Output* Pada Generator DC Magnet Permanen Pengujian ke-2

Gambar 4.19 dan Gambar 4.20 merupakan pengujian pertama dan kedua dengan tegangan *output* yang dihasilkan generator DC. Arus *output* yang dihasilkan generator DC mengalami kenaikan dan penurunan dikarenakan kecepatan aliran air yang berubah-ubah . Arus *output* minimal yang dihasilkan generator DC adalah 0,02 *Ampere* dan arus *output* maksimal yang dihasilkan generator DC adalah 0,25 *Ampere*.

4.6.5 Pengujian Daya dengan Efisiensi Pada Turbin *Cross Flow*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi pada turbin *cross flow*. Dengan rumus perhitungan sebagai berikut:

Daya Hidrolis

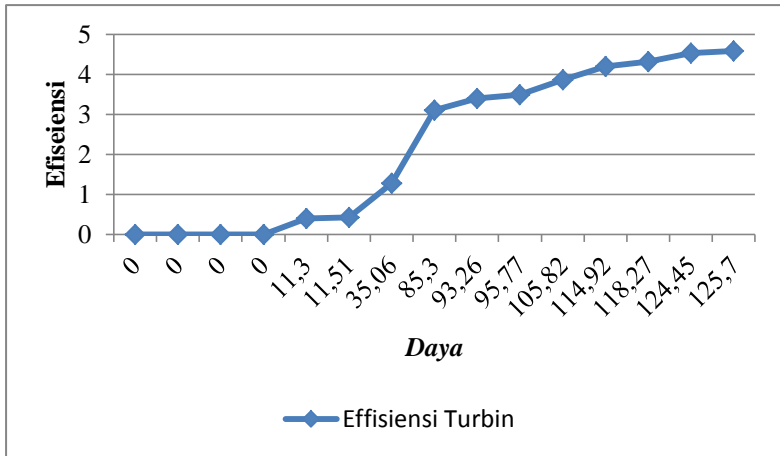
$$P_H = \rho \times g \times Q \times H \dots\dots\dots (4.4)$$

Daya Turbin

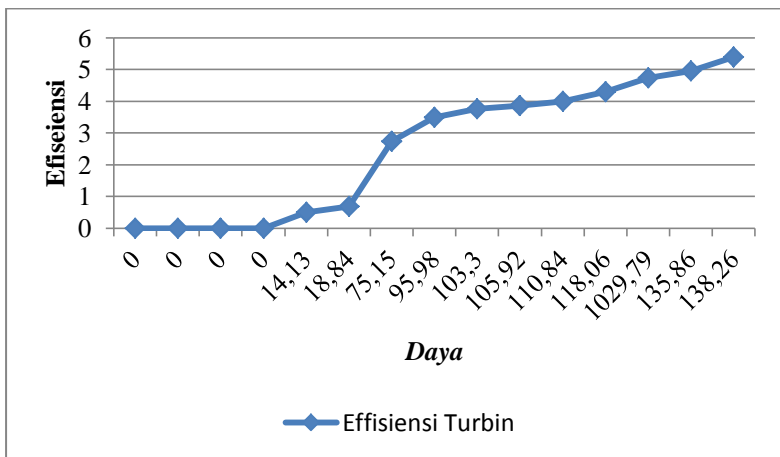
$$P_T = \frac{2 \times \pi \times n \times T}{60} \dots\dots\dots (4.5)$$

Efisiensi Turbin

$$Eff = \frac{P_T}{P_H} \times 100\% \dots\dots\dots (4.6)$$



Gambar 4.21 Grafik Daya Turbin dan Efisiensi Turbin Pengujian ke-1



Gambar 4.22 Grafik Daya Turbin dan Efisiensi Turbin Pengujian ke-2

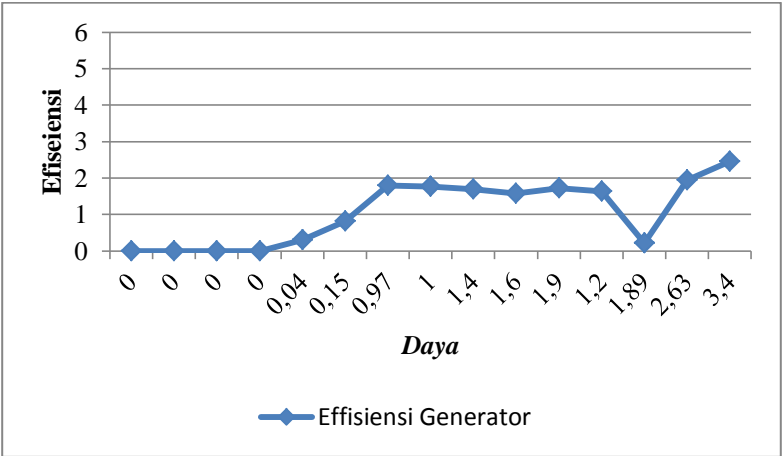
Gambar 4.20 dan Gambar 4.21 merupakan pengujian pertama dan kedua dengan efisiensi turbin *cross flow*. Semakin besar daya pada turbin maka semakin tinggi efisiensi pada turbin *cross flow*. Efisiensi minimal pada turbin adalah 0,4% dan efisiensi pada turbin adalah 5,39%.

4.6.6 Pengujian Daya dengan Efisiensi Pada Generator DC Magnet Permanen

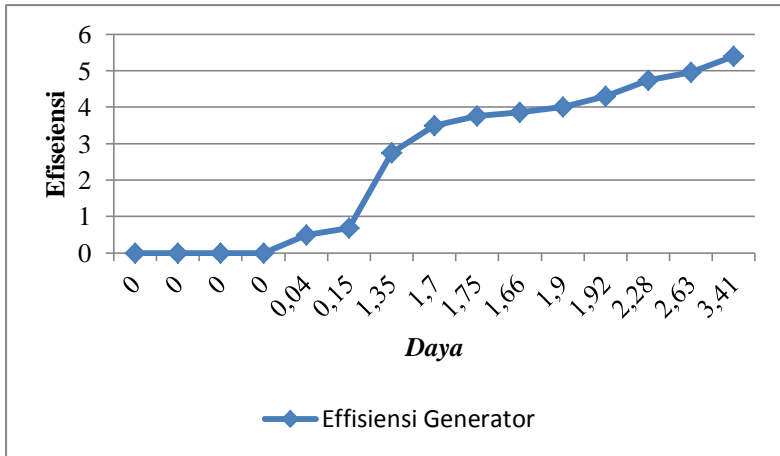
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi pada generator DC magnet permanen. Dengan rumus perhitungan sebagai berikut:

Daya Generator
 $P_G = V_G \times I_G$ (4.7)

Efisiensi Generator
 $Eff = \frac{P_G}{P_T} \times 100\%$ (4.8)



Gambar 4.23 Grafik Daya dan Efisiensi Generator DC Magnet Permanen Pengujian ke-1



Gambar 4.24 Grafik Daya dan Efisiensi Generator DC Magnet Permanen Pengujian ke-2

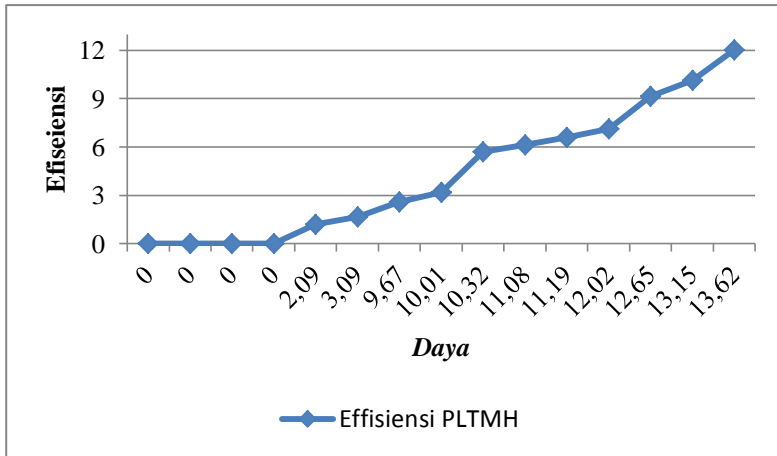
Gambar 4.23 dan Gambar 4.24 merupakan pengujian pertama dan kedua dengan efisiensi generator DC magnet permanen. Daya generator DC mengalami kenaikan dan penurunan dikarenakan arus *output* yang tidak stabil sehingga efisiensi generator DC yang dihasilkan juga mengalami kenaikan dan penurunan. Efisiensi minimal pada turbin adalah 0,37 % dan efisiensi maksimal pada turbin adalah 5,39%.

4.6.7 Pengujian Efisiensi PLTMH

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Dengan rumus perhitungan sebagai berikut:

Effisiensi PLTMH

$$\text{Eff} = \frac{P_G}{P_H} \times 100\% \dots\dots\dots (4.9)$$



Gambar 4.25 Grafik Effisiensi PLTMH

Gambar 4.25 merupakan pengujian pertama dan kedua dengan efisiensi PLTMH. Efisiensi minimal PLTMH adalah 1,2% dan efisiensi maksimal PLTMH adalah 5,9%. Tingginya efisiensi sistem pada PLTM bergantung pada daya generator DC magnet permanen dan kecepatan aliran sungai.

BAB V

PENUTUP

Bab penutup ini berisi tentang kesimpulan yang diperoleh selama proses perancangan dan pembuatan alat serta pengujian dan analisa, maka dapat ditarik kesimpulan dan saran dari kegiatan yang telah dilakukan untuk pengembangan Tugas Akhir ini.

5.1 Kesimpulan

Dari seluruh tahapan yang sudah dilaksanakan pada penyusunan Tugas Akhir ini, mulai dari studi *literature*, perancangan dan pembuatan sampai pada pengujiannya maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil pengujian dengan debit air sebesar 28 L/s dan kecepatan aliran sebesar 0.357 m/s maka turbin *crossflow* yang dibuat memiliki ukuran diameter luar sebesar 1 m dan jumlah sudu sebanyak 13 buah.
2. Spesifikasi kecepatan generator DC magnet permanen maksimal 2918 rpm dan spesifikasi kecepatan turbin *cross flow* maksimal 1231 rpm
3. Dari pengujian turbin *crossflow* dapat dihasilkan daya generator sebesar 3,5 watt dan efisiensi mekanik turbin sebesar 5,9 % dengan tegangan yang keluar dari generator pada saat debit air maksimal adalah rata-rata 13,62 volt.

5.2 Saran

1. Keseluruhan alat baik penyangga maupun tatanan lebih baik dibuat dari bahan yang kuat dan tahan terhadap getaran, agar sewaktu dijalankan tidak mengganggu kecepatan putar.
2. Agar daya output generator DC magnet permanen lebih besar, maka dibutuhkan generator DC dengan kecepatan (rpm) yang lebih besar.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arismunandar, Artono. ***Pegangan Teknik Tenaga Listrik Jilid I Pembangkitan Dengan Tenaga Air***. Praditya Paramita, 1982.
- [2] Arismunandar, Wiranto. ***Penggerak Mula Turbin***. ITB. Bandung: 2004.
- [3] Zuhail, Mahfud. ***Dasar Tenaga Listrik dan Elektronika Daya***. Jakarta. Gramedia. 1998.
- [4] Kadir, Abdul. ***Panduan Mempelajari Arduino***. Jogjakarta. ANDI OFFSET. 2013.
- [5] Eitel, Elisabeth. ***Basics of Rotary Encoders: Overview and New Technologies***. London. Machine Design Magazine. 2014.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

LAMPIRAN A

LISTING PROGRAM

A.1. Pemrograman Arduino Keseluruhan Rangkaian

```
#include <Wire.h> // i2C Conection Library
#include <LiquidCrystal_I2C.h> //i2C LCD Library

// Set the LCD address to 0x27 for a 16 chars and 2 line display
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 16, 4);

volatile byte half_revolutions;
unsigned int rpm;
unsigned long timeold;

volatile byte half_revolutions1;
unsigned int rpm1;
unsigned long timeold1;

byte sensorInterrupt = 5;
byte sensorPin      = 18;

float calibrationFactor = 4.5;

volatile byte pulseCount;

unsigned int frac;
float flowRate;
float flowMilliLitres;
float totalMilliLitres;

unsigned long oldTime;

void setup()
{
  attachInterrupt(0, rpm_fun, RISING);
```

```
half_revolutions = 0;
rpm = 0;
timeold = 0;
```

```
attachInterrupt(1, rpm_fun1, RISING);
half_revolutions1 = 0;
rpm1 = 0;
timeold1 = 0;
```

```
pinMode(sensorPin, INPUT);
digitalWrite(sensorPin, HIGH);
```

```
pulseCount    = 0;
flowRate      = 0.0;
flowMilliLitres = 0;
totalMilliLitres = 0;
oldTime       = 0;
```

```
attachInterrupt(sensorInterrupt, pulseCounter, FALLING);
```

```
lcd.begin();
lcd.clear();
lcd.noCursor();
```

```
}
```

```
void loop()
{
  // if (half_revolutions >= 10) {
    //Update RPM every 20 counts, increase this for better RPM
    resolution,
    //decrease for faster update
    rpm = 30*1000/(millis() - timeold)*half_revolutions;
    timeold = millis();
```

```

    half_revolutions = 0;
    //Serial.println(rpm,DEC);
    // }

    // if (half_revolutions1 >= 10) {
    //Update RPM every 20 counts, increase this for better RPM
resolution,
    //decrease for faster update
    rpm1 = 30*1000/(millis() - timeold1)*half_revolutions1;
    timeold1 = millis();
    half_revolutions1 = 0;
    //Serial.println(rpm,DEC);
    // }

    if((millis() - oldTime) > 1000)    // Only process counters once per
second
    {

        detachInterrupt(sensorInterrupt);
        flowRate = ((1000.0 / (millis() - oldTime)) * pulseCount) /
calibrationFactor;
        oldTime = millis();
        flowMilliLitres = (flowRate / 60) * 1000;
        totalMilliLitres += flowMilliLitres;

        // Print the flow rate for this second in litres / minute
        //Serial.print("Flow rate: ");
        //Serial.print(int(flowRate)); // Print the integer part of the variable
        //Serial.print(".");           // Print the decimal point
        // Determine the fractional part. The 10 multiplier gives us 1 decimal
place.
        frac = (flowRate - int(flowRate)) * 10;
        //Serial.print(frac, DEC); ;    // Print the fractional part of the variable
        //Serial.print("L/min");
        // Print the number of litres flowed in this second

```

```

// Print the cumulative total of litres flowed since starting
//Serial.print(" Output Liquid Quantity: ");          // Output separator
//Serial.print(totalMilliLitres);
//Serial.println("mL");

// Reset the pulse counter so we can start incrementing again
pulseCount = 0;

// Enable the interrupt again now that we've finished sending output
attachInterrupt(sensorInterrupt, pulseCounter, FALLING);
}

float rpmg = (rpm - 236.45) / 23.622;
float rpmm = (rpm1 - 459.28) / 31.374;

if(rpmm < 0){
  rpmm = 0;
}
if(rpmg < 0){
  rpmg = 0;
}

lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("RPMG= ");
lcd.print(rpmg);
lcd.print(" ");

lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("RPM= ");
lcd.print(rpmm);
lcd.print(" ");

float kecepatan = flowMilliLitres / 100;
lcd.setCursor(-4,2);
lcd.print("Flow= ");
lcd.print(kecepatan);
lcd.print(" m/s ");

```

```

int dataadc = analogRead(A0);
float v = dataadc * (5.0 / 1023.0);
float arus = (v - 2.5) / 0.1;

if(arus < 0){
    arus = 0;
}

int dataadcx = analogRead(A1);
float vx = dataadcx * (5.0 / 1023.0);
float tegangan = (vx * 5.4) - 1;

if(tegangan < 0){
    tegangan = 0;
}

lcd.setCursor(-4,3);
lcd.print("I= ");
lcd.print(arus);
lcd.print(" ");

lcd.print("V= ");
lcd.print(tegangan);
lcd.print(" ");

delay(200);

}

void rpm_fun()
{
    half_revolutions++;
}

void rpm_fun1()

```

```
{  
    half_revolutions1++;  
}
```

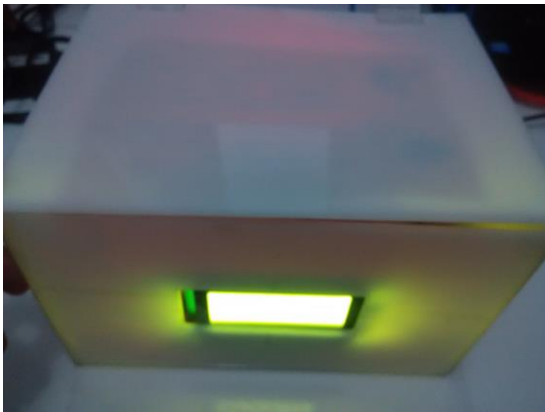
```
void pulseCounter()  
{  
    pulseCount++;  
}
```

LAMPIRAN B FOTO

1. Rancangan Turbin



2. Rancangan Elektrik



B-1

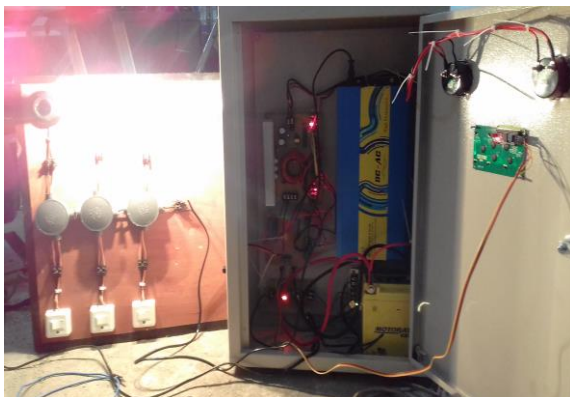
3. Tampilan LCD



4. Uji Turbin



5. Uji *Buck-Boost Converter*



-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

LAMPIRAN C

DATASHEET

1. *Datasheet* Arduino Mega 2560



Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

Power

The Arduino Mega can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The Mega2560 differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

The power pins are as follows:

✦ **VIN**. The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.

✦ **5V**. The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.

✦ **3V3**. A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.

✦ **GND**. Ground pins.

Memory

The ATmega2560 has 256 KB of flash memory for storing code (of which 8 KB is used for the bootloader), 8 KB of SRAM and 4 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

Each of the 54 digital pins on the Mega can be used as an input or output, using `pinMode()`, `digitalWrite()`, and `digitalRead()` functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

✦ **Serial: 0 (RX) and 1 (TX); Serial 1: 19 (RX) and 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) and 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) and 14 (TX)**. Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. Pins 0 and 1 are also connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.

✦ **External Interrupts: 2 (interrupt 0), 3 (interrupt 1), 18 (interrupt 5), 19 (interrupt 4), 20 (interrupt 3), and 21 (interrupt 2)**. These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.

✦ **PWM: 0 to 13**. Provide 8-bit PWM output with the `analogWrite()` function.

✦ **SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS)**. These pins support SPI communication using the [SPI library](#). The SPI pins are also broken out on the ICSP header, which is physically compatible with the Uno, Duemilanove and Diecimila.

✦ **LED: 13**. There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

✦ **I²C: 20 (SDA) and 21 (SCL)**. Support I²C (TWI) communication using the [Wire library](#) (documentation on the Wiring website). Note that these pins are not in the same location as the I²C pins on the Duemilanove or Diecimila.

The Mega2560 has 16 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though is it possible to change the upper end of their range using the AREF pin and `analogReference()` function.

There are a couple of other pins on the board:

- ✦ **AREF**. Reference voltage for the analog inputs. Used with `analogReference()`.
- ✦ **Reset**. Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

Communication

The Arduino Mega2560 has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega2560 provides four hardware UARTs for TTL (5V) serial communication. An ATmega8U2 on the board channels one of these over USB and provides a virtual com port to software on the computer (Windows machines will need a .inf file, but OSX and Linux machines will recognize the board as a COM port automatically). The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the ATmega8U2 chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A **SoftwareSerial library** allows for serial communication on any of the Mega2560's digital pins.

The ATmega2560 also supports I²C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I²C bus; see the [documentation on the Wiring website](#) for details. For SPI communication, use the [SPI library](#).

Programming

The Arduino Mega can be programmed with the Arduino software ([download](#)). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega2560 on the Arduino Mega comes preburned with a **bootloader** that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.

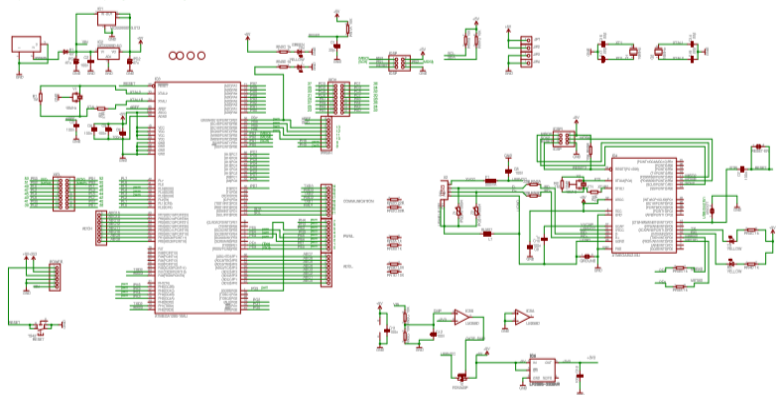
The ATmega8U2 firmware source code is available in the [Arduino repository](#). The ATmega8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2. You can then use [Atmel's FLIP software](#) (Windows) or the [DFU programmer](#) (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader). See [this user-contributed tutorial](#) for more information.

Physical Characteristics and Shield Compatibility

The maximum length and width of the Mega2560 PCB are 4 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Three screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.

The Mega2560 is designed to be compatible with most shields designed for the Uno, Diecimila or Duemilanove. Digital pins 0 to 13 (and the adjacent AREF and GND pins), analog inputs 0 to 5, the power header, and ICSP header are all in equivalent locations. Further the main UART (serial port) is located on the same pins (0 and 1), as are external interrupts 0 and 1 (pins 2 and 3 respectively). SPI is available through the ICSP header on both the Mega2560 and Duemilanove / Diecimila. *Please note that I²C is not located on the same pins on the Mega (20 and 21) as the Duemilanove / Diecimila (analog inputs 4 and 5).*

Articles may make changes to specifications and product descriptions at any time, without notice. The Customer must rely on the accuracy of descriptions of products and services provided on the website. Actual products may be made available and may vary in appearance, availability or other characteristics from those descriptions made on the website.



2. Datasheet ACS712



ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Features and Benefits

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5 μ s output rise time in response to step input current
- 50 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at $T_A = 25^\circ\text{C}$, and 4% at -40°C to 85°C
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m Ω internal conductor resistance
- 2.1 kV_{RMS} minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage

Package: 8 pin SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1



Description

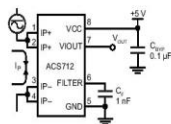
The Allegro® ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, automotive, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switched-mode power supplies, and overcurrent fault protection.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall sensor circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which is sensed by the integrated Hall IC and converted into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ($>V_{IOUT(0)}$) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sensing. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m Ω typical, providing low power

Continued on the next page...

Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal, V_{OUT} , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sensed current, I_p , within the range specified. C_F is recommended for noise management, with values that depend on the application.

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with
2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

loss. The thickness of the copper conductor allows survival of the device at up to $5\times$ overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the sensor leads (pins 5 through 8). This allows the ACS712 current sensor to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

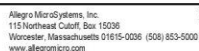
The ACS712 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

Part Number	Packing*	T _{OP} (°C)	Optimized Range, I _p (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±30	66

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V_{CC}		8	V
Reverse Supply Voltage	V_{RCC}		-0.1	V
Output Voltage	V_{OUT}		8	V
Reverse Output Voltage	V_{ROUT}		-0.1	V
Output Current Source	$I_{OUT(SOURCE)}$		3	mA
Output Current Sink	$I_{OUT(SINK)}$		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I_P	100 total pulses, 250 ms duration each, applied at a rate of 1 pulse every 100 seconds.	60	A
Maximum Transient Sensed Current	$I_2(max)$	Junction Temperature, $T_J < T_J(max)$	60	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T_A	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction	$T_J(max)$		165	°C
Storage Temperature	T_{stg}		-65 to 170	°C



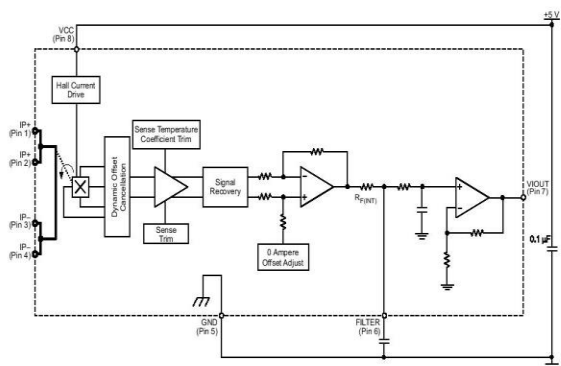
Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1:2003 EN 60950-1:2001



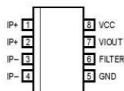
ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with
2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Functional Block Diagram



Pin-out Diagram



Terminal List Table

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sensed; fused internally
3 and 4	IP-	Terminals for current being sensed; fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal



Allegro Microsystems, Inc.
115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000
www.allegromicro.com

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with
2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

COMMON OPERATING CHARACTERISTICS¹ over full range of T_{OP} , $C_F = 1$ nF, and $V_{CC} = 5$ V, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
ELECTRICAL CHARACTERISTICS						
Supply Voltage	V_{CC}		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	I_{CC}	$V_{CC} = 5.0$ V, output open	6	8	11	mA
Output Zener Clamp Voltage	V_Z	$I_{CC} = 11$ mA, $T_A = 25^\circ\text{C}$	6	8.3	—	V
Output Resistance	R_{OUT}	$I_{OUT} = 1.2$ mA, $T_A = 25^\circ\text{C}$	—	1	2	Ω
Output Capacitance Load	C_{LOAD}	V _{OUT} to GND	—	—	10	nF
Output Resistive Load	R_{LOAD}	V _{OUT} to GND	4.7	—	—	k Ω
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	—	1.2	—	m Ω
RMS Isolation Voltage	$V_{ISOL RMS}$	Pins 1-4 and 5-8: 60 Hz, 1 minute, $T_A = 25^\circ\text{C}$	2100	—	—	V
DC Isolation Voltage	$V_{ISOL DC}$	Pins 1-4 and 5-8: 1 minute, $T_A = 25^\circ\text{C}$	—	5000	—	V
Propagation Time	t_{PROP}	$I_P = I_P(\text{max})$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_{OUT} = \text{open}$	—	3	—	μs
Response Time	$t_{RESPONSE}$	$I_P = I_P(\text{max})$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_{OUT} = \text{open}$	—	7	—	μs
Rise Time	t_r	$I_P = I_P(\text{max})$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_{OUT} = \text{open}$	—	5	—	μs
Frequency Bandwidth	f	-3 dB, $T_A = 25^\circ\text{C}$, I_P is 10 A peak-to-peak	50	—	—	kHz
Nonlinearity	E_{LIN}	Over full range of I_P	—	± 1	± 1.5	%
Symmetry	E_{SYM}	Over full range of I_P	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{OUT(IQ)}$	Bidirectional, $I_P = 0$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	—	$V_{CC} \times \frac{0.5}{0.5}$	—	V
Magnetic Offset Error	V_{ERROM}	$I_P = 0$ A, after excursion of 5 A	—	0	—	mV
Clamping Voltage	V_{CH}		Typ. -110	$V_{CC} \times \frac{0.9375}{0.5}$	Typ. +110	mV
	V_{CL}		Typ. -110	$V_{CC} \times \frac{0.0625}{0.5}$	Typ. +110	mV
Power-On Time	t_{PO}	Output reaches 90% of steady-state level, $T_J = 25^\circ\text{C}$, 20 A present on leadframe	—	35	—	μs
Magnetic Coupling ²			—	12	—	G/A
Internal Filter Resistance ³	$R_{F(NT)}$		—	1.7	—	k Ω

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient, T_A , and internal leadframe temperatures, T_{OP} , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_J(\text{max})$, is not exceeded.

²1 G = 0.1 mT.

³ $R_{F(NT)}$ forms an RC circuit via the FILTER pin.

COMMON THERMAL CHARACTERISTICS¹

				Min.	Typ.	Max.	Units
Operating Internal Leadframe Temperature	T_{OP}	E range		-40	—	85	°C
							Value Units
Junction-to-Lead Thermal Resistance ²	$R_{\theta JL}$	Mounted on the Allegro ASEX 712 evaluation board				5	°C/W
Junction-to-Ambient Thermal Resistance	$R_{\theta JA}$	Mounted on the Allegro 85-0322 evaluation board, includes the power consumed by the board				23	°C/W

¹Additional thermal information is available on the Allegro website.

²The Allegro evaluation board has 1500 mm² of 2 oz. copper on each side, connected to pins 1 and 2, and to pins 3 and 4, with thermal vias connecting the layers. Performance values include the power consumed by the PCB. Further details on the board are available from the Frequently Asked Questions document on our website. Further information about board design and thermal performance also can be found in the Applications Information section of this datasheet.



Allegro Microsystems, Inc.
115 Northeast Corbett, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000
www.allegromicro.com

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kV_{RMS} Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

x05A PERFORMANCE CHARACTERISTICS $T_{OP} = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C^1 , $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{OC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-5	-	5	A
Sensitivity ²	$Sens_{TA}$	Over full range of I_P , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	185	-	mV/A
	$Sens_{TOP}$	Over full range of I_P	178	-	193	mV/A
Noise	$V_{NOISE(PP)}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 185 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 4.7\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 20 kHz bandwidth	-	45	-	mV
		Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 185 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	20	-	mV
		Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 185 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 1\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 50 kHz bandwidth	-	75	-	mV
Electrical Offset Voltage	V_{OE}	$I_P = 0\text{ A}$	-40	-	40	mV
Total Output Error ³	E_{TOT}	$I_P \pm 5\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_{OP} , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(max)}$, is not exceeded.

²At -40°C Sensitivity may shift as much 9% outside of the datasheet limits.

³Percentage of I_P with $I_P = 5\text{ A}$. Output filtered.

x20A PERFORMANCE CHARACTERISTICS $T_{OP} = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C^1 , $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{OC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-20	-	20	A
Sensitivity ²	$Sens_{TA}$	Over full range of I_P , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	100	-	mV/A
	$Sens_{TOP}$	Over full range of I_P	97	-	103	mV/A
Noise	$V_{NOISE(PP)}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 100 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 4.7\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 20 kHz bandwidth	-	24	-	mV
		Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 100 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	10	-	mV
		Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 100 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 1\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 50 kHz bandwidth	-	40	-	mV
Electrical Offset Voltage	V_{OE}	$I_P = 0\text{ A}$	-30	-	30	mV
Total Output Error ³	E_{TOT}	$I_P \pm 20\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_{OP} , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(max)}$, is not exceeded.

²At -40°C Sensitivity may shift as much 9% outside of the datasheet limits.

³Percentage of I_P with $I_P = 20\text{ A}$. Output filtered.

x30A PERFORMANCE CHARACTERISTICS $T_{OP} = -40^{\circ}\text{C}$ to 85°C^1 , $C_F = 1\text{ nF}$, and $V_{OC} = 5\text{ V}$, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I_P		-30	-	30	A
Sensitivity ²	$Sens_{TA}$	Over full range of I_P , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	66	-	mV/A
	$Sens_{TOP}$	Over full range of I_P	64	-	68	mV/A
Noise	$V_{NOISE(PP)}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 66 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 4.7\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 20 kHz bandwidth	-	20	-	mV
		Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 66 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 2 kHz bandwidth	-	7	-	mV
		Peak-to-peak, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$, 66 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 1\text{ nF}$, $C_{OUT} = \text{open}$, 50 kHz bandwidth	-	35	-	mV
Electrical Offset Voltage	V_{OE}	$I_P = 0\text{ A}$	-30	-	30	mV
Total Output Error ³	E_{TOT}	$I_P \pm 30\text{ A}$, $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_{OP} , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(max)}$, is not exceeded.

²At -40°C Sensitivity may shift as much 9% outside of the datasheet limits.

³Percentage of I_P with $I_P = 30\text{ A}$. Output filtered.



Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000
www.allegromicro.com

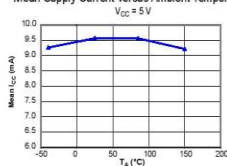
ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with
2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

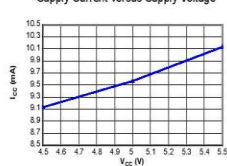
Characteristic Performance

$I_p = 5\text{ A}$, Sens = 185 mV/A unless otherwise specified

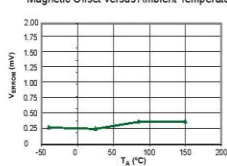
Mean Supply Current versus Ambient Temperature



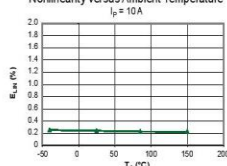
Supply Current versus Supply Voltage



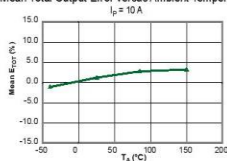
Magnetic Offset versus Ambient Temperature



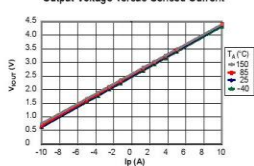
Nonlinearity versus Ambient Temperature



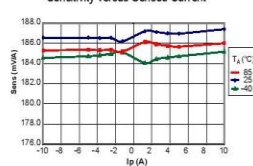
Mean Total Output Error versus Ambient Temperature



Output Voltage versus Sensed Current



Sensitivity versus Sensed Current

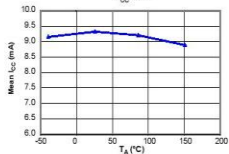


Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000
www.allegromicro.com

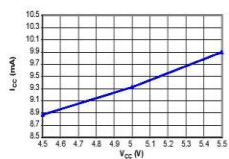
Characteristic Performance

$I_p = 30\text{ A}$, Sens = 66 mV/A unless otherwise specified

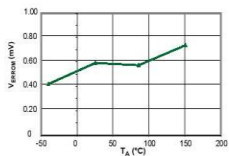
Mean Supply Current versus Ambient Temperature
 $V_{CC} = 5\text{ V}$



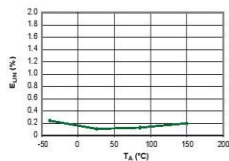
Supply Current versus Supply Voltage



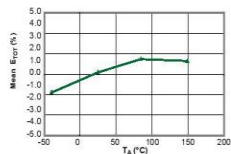
Magnetic Offset Current versus Ambient Temperature



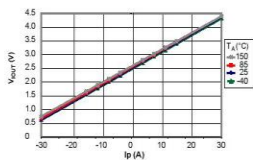
Nonlinearity versus Ambient Temperature



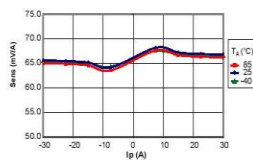
Mean Total Output Error versus Ambient Temperature



Output Voltage versus Sensed Current



Sensitivity versus Sensed Current



Definitions of Accuracy Characteristics

Sensitivity (Sens). The change in sensor output in response to a 1 A change through the primary conductor. The sensitivity is the product of the magnetic circuit sensitivity (G/A) and the linear IC amplifier gain (mV/G). The linear IC amplifier gain is programmed at the factory to optimize the sensitivity (mV/A) for the full-scale current of the device.

Noise (V_{NOISE}). The product of the linear IC amplifier gain (mV/G) and the noise floor for the Allegro Hall effect linear IC (≈ 1 G). The noise floor is derived from the thermal and shot noise observed in Hall elements. Dividing the noise (mV) by the sensitivity (mV/A) provides the smallest current that the device is able to resolve.

Linearity (E_{LINE}). The degree to which the voltage output from the sensor varies in direct proportion to the primary current through its full-scale amplitude. Nonlinearity in the output can be attributed to the saturation of the flux concentrator approaching the full-scale current. The following equation is used to derive the linearity:

$$100 \left\{ 1 - \frac{\Delta \text{gain} \times \% \text{ sat } (V_{\text{IOUT_full-scale amperes}} - V_{\text{IOUT(Q)}})}{2 (V_{\text{IOUT_half-scale amperes}} - V_{\text{IOUT(Q)}})} \right\}$$

where $V_{\text{IOUT_full-scale amperes}}$ = the output voltage (V) when the sensed current approximates full-scale $\pm I_p$.

Symmetry (E_{SYN}). The degree to which the absolute voltage output from the sensor varies in proportion to either a positive or negative full-scale primary current. The following formula is used to derive symmetry:

$$100 \left(\frac{V_{\text{IOUT}} + \text{full-scale amperes} - V_{\text{IOUT(Q)}}}{V_{\text{IOUT(Q)}} - V_{\text{IOUT_full-scale amperes}}} \right)$$

Quiescent output voltage (V_{IOUT(Q)}). The output of the sensor when the primary current is zero. For a unipolar supply voltage, it nominally remains at $V_{CC}/2$. Thus, $V_{CC} = 5$ V translates into $V_{\text{IOUT(Q)}} = 2.5$ V. Variation in $V_{\text{IOUT(Q)}}$ can be attributed to the resolution of the Allegro linear IC quiescent voltage trim and thermal drift.

Electrical offset voltage (V_{OE}). The deviation of the device output from its ideal quiescent value of $V_{CC}/2$ due to nonmagnetic causes. To convert this voltage to amperes, divide by the device sensitivity, Sens.

Accuracy (E_{TOT}). The accuracy represents the maximum deviation of the actual output from its ideal value. This is also known as the total output error. The accuracy is illustrated graphically in the output voltage versus current chart at right.

Accuracy is divided into four areas:

- **0 A at 25°C.** Accuracy of sensing zero current flow at 25°C, without the effects of temperature.
- **0 A over Δ temperature.** Accuracy of sensing zero current flow including temperature effects.
- **Full-scale current at 25°C.** Accuracy of sensing the full-scale current at 25°C, without the effects of temperature.
- **Full-scale current over Δ temperature.** Accuracy of sensing full-scale current flow including temperature effects.

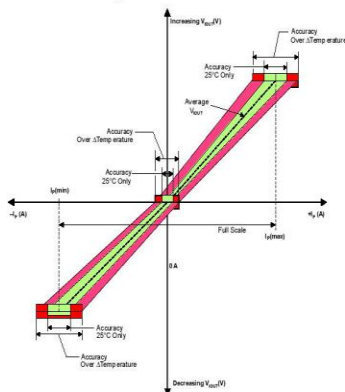
Ratiometry. The ratiometric feature means that its 0 A output, $V_{\text{IOUT(Q)}}$, (nominally equal to $V_{CC}/2$) and sensitivity, Sens, are proportional to its supply voltage, V_{CC} . The following formula is used to derive the ratiometric change in 0 A output voltage, $\Delta V_{\text{IOUT(Q)RAT}}$ (%).

$$100 \left(\frac{V_{\text{IOUT(Q)NCC}} / V_{\text{IOUT(QSV)}}}{V_{CC} / 5 \text{ V}} \right)$$

The ratiometric change in sensitivity, $\Delta \text{Sens}_{\text{RAT}}$ (%), is defined as:

$$100 \left(\frac{\text{Sens}_{V_{CC}} / \text{Sens}_{5\text{V}}}{V_{CC} / 5 \text{ V}} \right)$$

Output Voltage versus Sensed Current
Accuracy at 0 A and at Full-Scale Current



ACS712

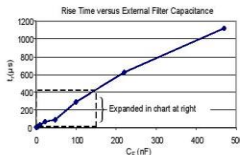
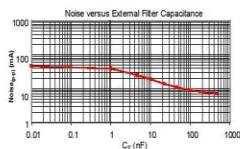
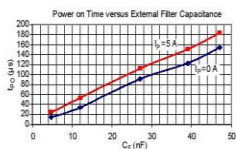
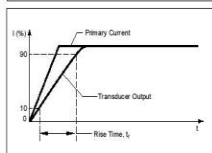
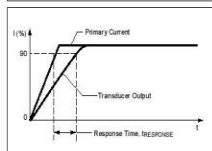
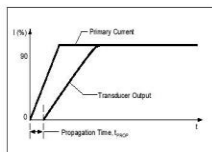
Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with
2.1 kV RMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Definitions of Dynamic Response Characteristics

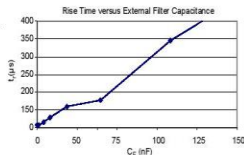
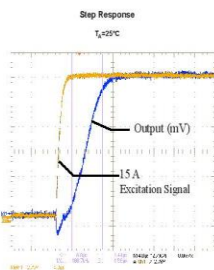
Propagation delay (t_{PROP}). The time required for the sensor output to reflect a change in the primary current signal. Propagation delay is attributed to inductive loading within the linear IC package, as well as in the inductive loop formed by the primary conductor geometry. Propagation delay can be considered as a fixed time offset and may be compensated.

Response time ($t_{RESPONSE}$). The time interval between a) when the primary current signal reaches 90% of its final value, and b) when the sensor reaches 90% of its output corresponding to the applied current.

Rise time (t_r). The time interval between a) when the sensor reaches 10% of its full scale value, and b) when it reaches 90% of its full scale value. The rise time to a step response is used to derive the bandwidth of the current sensor, in which $f(-3\text{ dB}) = 0.35/t_r$. Both t_r and $t_{RESPONSE}$ are detrimentally affected by eddy current losses observed in the conductive IC ground plane.



C_F (nF)	t_r (μs)
0	6.647
1	7.74
4.7	17.38
10	32.0687
22	68.15
47	88.18
100	291.28
220	623.02
470	1120



Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Calcutt, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000
www.allegromicro.com

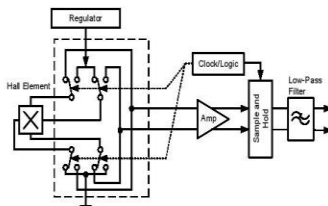
ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kV RMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Chopper Stabilization Technique

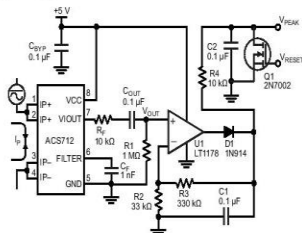
Chopper Stabilization is an innovative circuit technique that is used to minimize the offset voltage of a Hall element and an associated on-chip amplifier. Allegro patented a Chopper Stabilization technique that nearly eliminates Hall IC output drift induced by temperature or package stress effects. This offset reduction technique is based on a signal modulation-demodulation process. Modulation is used to separate the undesired dc offset signal from the magnetically induced signal in the frequency domain. Then, using a low-pass filter, the modulated dc offset is suppressed while the magnetically induced signal passes through the filter. As a result of this chopper stabilization approach, the output voltage from the Hall IC is desensitized to the effects of temperature and mechanical stress. This technique produces devices that have an extremely stable Electrical Offset Voltage, are immune to thermal stress, and have precise recoverability after temperature cycling.

This technique is made possible through the use of a BiCMOS process that allows the use of low-offset and low-noise amplifiers in combination with high-density logic integration and sample and hold circuits.

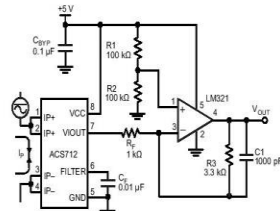


Concept of Chopper Stabilization Technique

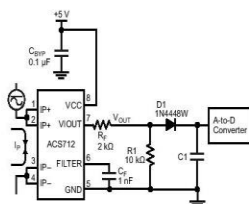
Typical Applications



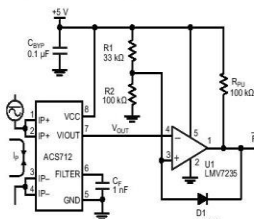
Application 2: Peak Detecting Circuit



Application 3: This configuration increases gain to 610 mV/A (tested using the ACS712ELC-05A).



Application 4: Rectified Output. 3.3 V scaling and rectification application for A-to-D converters. Replaces current transformer solutions with simpler ACS circuit. C1 is a function of the load resistance and filtering desired. R1 can be omitted if the full range is desired.



Application 5: 10 A Overcurrent Fault Latch. Fault threshold set by R1 and R2. This circuit latches an overcurrent fault and holds it until the 5 V rail is powered down.



Allegro Microsystems, Inc.
115 Northeast Cabot, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000
www.allegromicro.com

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with
2.1 kV RMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Improving Sensing System Accuracy Using the FILTER Pin

In low-frequency sensing applications, it is often advantageous to add a simple RC filter to the output of the sensor. Such a low-pass filter improves the signal-to-noise ratio, and therefore the resolution, of the sensor output signal. However, the addition of an RC filter to the output of a sensor IC can result in undesirable sensor output attenuation — even for dc signals.

Signal attenuation, ΔV_{ATT} , is a result of the resistive divider effect between the resistance of the external filter, R_F (see Application 6), and the input impedance and resistance of the customer interface circuit, R_{INTFC} . The transfer function of this resistive divider is given by:

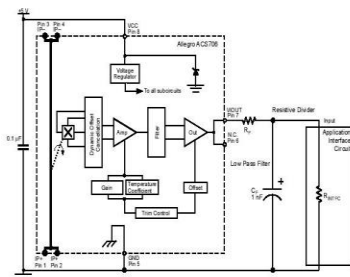
$$\Delta V_{ATT} = V_{IOUT} \left(\frac{R_{INTFC}}{R_F + R_{INTFC}} \right)$$

Even if R_F and R_{INTFC} are designed to match, the two individual resistance values will most likely drift by different amounts over

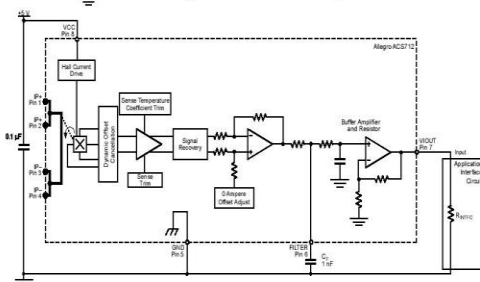
temperature. Therefore, signal attenuation will vary as a function of temperature. Note that, in many cases, the input impedance, R_{INTFC} , of a typical analog-to-digital converter (ADC) can be as low as 10 k Ω .

The ACS712 contains an internal resistor, a FILTER pin connection to the printed circuit board, and an internal buffer amplifier. With this circuit architecture, users can implement a simple RC filter via the addition of a capacitor, C_F (see Application 7) from the FILTER pin to ground. The buffer amplifier inside of the ACS712 (located after the internal resistor and FILTER pin connection) eliminates the attenuation caused by the resistive divider effect described in the equation for ΔV_{ATT} . Therefore, the ACS712 device is ideal for use in high-accuracy applications that cannot afford the signal attenuation associated with the use of an external RC low-pass filter.

Application 6. When a low pass filter is constructed externally to a standard Hall effect device, a resistive divider may exist between the filter resistor, R_F , and the resistance of the customer interface circuit, R_{INTFC} . This resistive divider will cause excessive attenuation, as given by the transfer function for ΔV_{ATT} :



Application 7. Using the FILTER pin provided on the ACS712 eliminates the attenuation effects of the resistor divider between R_F and R_{INTFC} , shown in Application 6.

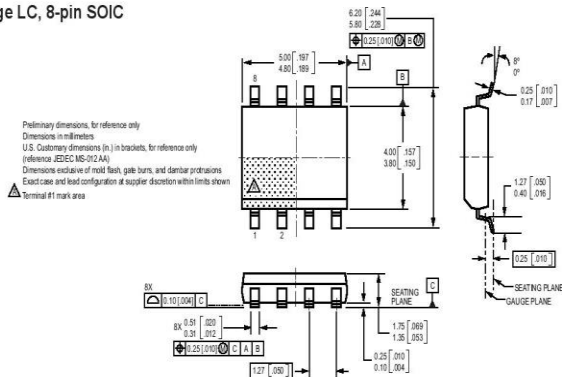


Allegro Microsystems, Inc.
115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000
www.allegromicro.com

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with
2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Package LC, 8-pin SOIC



Package Branding

Two alternative patterns are used



ACS712T RLCPPP YYWWA	ACS	Allegro Current Sensor
	712	Device family number
	T	Indicator of 100% matte tin leadframe plating
	R	Operating ambient temperature range code
	LC	Package type designator
	PPP	Primary sensed current
	YY	Date code: Calendar year (last two digits)
	WW	Date code: Calendar week
	A	Date code: Shift code

ACS712T RLCPPP L.L YYWW	ACS	Allegro Current Sensor
	712	Device family number
	T	Indicator of 100% matte tin leadframe plating
	R	Operating ambient temperature range code
	LC	Package type designator
	PPP	Primary sensed current
	L.L	Lot code
	YY	Date code: Calendar year (last two digits)
	WW	Date code: Calendar week

The products described herein are manufactured under one or more of the following U.S. patents: 5,045,920; 5,264,783; 5,442,283; 5,389,889; 5,581,179; 5,517,112; 5,619,137; 5,621,319; 5,650,719; 5,686,894; 5,694,035; 5,729,130; 5,917,320; and other patents pending.

Allegro MicroSystems, Inc. reserves the right to make, from time to time, such departures from the detail specifications as may be required to permit improvements in the performance, reliability,

or manufacturability of its products. Before placing an order, the user is cautioned to verify that the information being relied upon is current. The information included herein is believed to be accurate and reliable. However, Allegro MicroSystems, Inc. assumes no responsibility for its use; nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use.

Copyright ©2006, Allegro MicroSystems, Inc.

For the latest version of this document, go to our website at:

www.allegromicro.com



Allegro MicroSystems, Inc.
115 Northeast Cutoff, Box 15036
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000
www.allegromicro.com

LAMPIRAN D TABEL

Tabel D.1 Pengujian Tegangan *Output* Mikrokonroler

Pin	High (Volt)	Low (Volt)
A0	4,96	0
A1	4,96	0
A2	4,96	0
A3	4,96	0
A4	4,96	0
A5	4,96	0
A6	4,96	0
A7	4,96	0
A8	4,96	0
A9	4,96	0
A10	4,96	0
A11	4,96	0
A12	4,96	0
A13	4,96	0
A14	4,96	0
A15	4,96	0
Rata -Rata	4,96	0

Pin	High (Volt)	Low (Volt)
0	4,96	0
1	4,96	0
2	4,96	0
3	4,96	0
4	4,96	0
5	4,96	0
6	4,96	0
7	4,96	0
8	4,96	0
9	4,96	0
10	4,96	0
11	4,96	0
12	4,96	0
13	4,96	0

Pin	High (Volt)	Low (Volt)
14	4,96	0
15	4,96	0
16	4,96	0
17	4,96	0
18	4,96	0
19	4,96	0
20	4,96	0
21	4,96	0
22	4,96	0
23	4,96	0
24	4,96	0
25	4,96	0
26	4,96	0
27	4,96	0
28	4,96	0
29	4,96	0
30	4,96	0
31	4,96	0
32	4,96	0
33	4,96	0
34	4,96	0
35	4,96	0
36	4,96	0
37	4,96	0
38	4,96	0
39	4,96	0
40	4,96	0
41	4,96	0
42	4,96	0
43	4,96	0
44	4,96	0
45	4,96	0
46	4,96	0
47	4,96	0
48	4,96	0
49	4,96	0
50	4,96	0
51	4,96	0

Pin	High (Volt)	Low (Volt)
52	4,96	0
53	4,96	0
54	4,96	0
Rata -Rata	4,96	0

Tabel D.2 Pengujian *Rotary Encoder* pada Generator DC

Tachometer (rpm)	LCD
0	0
80	2576
111	3520
130	4107
150	4773
175	5600

Tabel D.3 Pengujian *Rotary Encoder* pada Turbin

Tachometer (rpm)	LCD
0	0
329	7843
438	10198
500	12096
583	13875
682	16317

Tabel D.4 Pengujian Sensor Pembagi Tegangan

Tegangan (Volt)	LCD
0	0
1	0.95
3	3.12
5	5.1
7	7.14
9	9.18
11	11.03

Tengangan (Volt)	LCD
13	13.01
15	15.02
17	17.03
19	19.04
21	21.02
23	23.14

Tabel D.5 Pengujian Sensor Arus

Arus (Ampere)	LCD
0	0
0.1	0.13
0.3	0.33
0.5	0.53
0.7	0.73
0.9	0.93
1	1.03

Tabel D.6 Pengujian Keseluruhan

Pengujian ke-1

Vair	RPM_G	RPM_T	Vout	Iout
0.03	-	-	-	-
0.08	-	-	-	-
0.14	-	-	-	-
0.20	-	-	-	-
0.35	208	108	2,09	0,02
0.43	225	110	3,09	0,05
0.48	942	335	9,67	0,1
0.50	1401	815	10,01	0,1
0.53	1479	891	10,32	0,14
0.57	1512	915	11,08	0,15
0.60	1687	1011	11,19	0,17
0.64	1815	1098	12,02	0,1

Vair	RPM_G	RPM_T	Vout	Iout
0.66	2257	1130	12,65	0,15
0.70	2439	1189	13,15	0,2
0.72	2812	1201	13,62	0,25

Pengujian ke-2

Vair	RPM_G	RPM_T	Vout	Iout
0.05	-	-	-	-
0.12	-	-	-	-
0.16	-	-	-	-
0.25	-	-	-	-
0.37	260	108	108	0,02
0.45	350	110	110	0,05
0.51	1573	335	335	0,1
0.55	1627	815	815	0,1
0.59	1721	891	891	0,14
0.63	1815	915	915	0,15
0.65	1913	1011	1011	0,17
0.68	2043	1098	1098	0,1
0.7	2431	1130	1130	0,15
0.73	2579	1189	1189	0,2
0.75	2918	1201	1201	0,25

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama : Nur Fauziyah
TTL : Pasuruan, 29 Agustus 1995
Kelamin : Perempuan
Agama : Islam
Alamat : JL. RA. Kartini No. 18 Bangil
Telp/HP : 085732223221
E-mail : nur.fauziyah.1995@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

1. 2001 – 2007 : SDN Latek
2. 2007 – 2010 : SMP Negeri 1 Bangil
3. 2010 – 2013 : MAN Bangil
4. 2014 – sekarang : Bidang Studi Elektronika Industri, Departemen Teknik Elektro Otomasi, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

PENGALAMAN KERJA

1. OJT di Pelindo Marine Service, Surabaya, Indonesia.

PENGALAMAN ORGANISASI

-

PENGALAMAN KEPANITIAAN

1. Panitia Line Tracer Analog Industrial Automation and Robotic Competition (2014-2015)
2. Panitia Line Tracer Analog Industrial Automation and Robotic Competition (2015-2016)

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----